

# Principes fondamentaux de la technologie des pompes



<b>Principes fondamentaux de la technologie des pompes</b>	<b>5</b>
<b>Historique de la technologie des pompes</b>	<b>7</b>
Distribution d'eau	7
Evacuation des eaux usées	8
Technique de chauffage	9
<b>Systèmes de pompage</b>	<b>12</b>
Circuit ouvert	12
Circuit de chauffage fermé	13
<b>L'eau – notre moyen de transport</b>	<b>15</b>
Capacité calorifique	15
Augmentation et diminution de volume	16
Caractéristiques d'ébullition de l'eau	17
Expansion de l'eau de chauffage et protection contre la surpression	18
Pression	19
Cavitation	19
<b>Conception des pompes centrifuges</b>	<b>21</b>
Pompes auto-amorçantes et non auto-amorçantes	21
Fonctionnement des pompes centrifuges	22
Roues	22
Rendement de la pompe	23
Consommation d'énergie des pompes centrifuges	24
Circulateurs à rotor noyé	25
Pompes à moteur ventilé	27
Pompes centrifuges haute pression	29
<b>Courbes</b>	<b>31</b>
Courbe de pompe	31
Courbe réseau	32
Point de fonctionnement	33
<b>Adaptation de la pompe aux besoins énergétiques</b>	<b>35</b>
Fluctuations climatiques	35
Sélection de la vitesse de la pompe	36
Régulation de vitesse variable en continu	36
Modes de commande	37

**Détermination de pompe pour installations de chauffage standard 41**

Débit de la pompe	41
Hauteur de refoulement de la pompe	41
Exemple d'application	42
Influence sur la détermination des pompes	43
Logiciel de sélection de pompes	43
L'hydraulique de A à Z	45
Réglage des pompes de circulation commandées électroniquement	45
Fonctionnement de plusieurs de pompes	46

**Conclusions 50****Le saviez-vous... 51**

Histoire de la technologie des pompes	51
L'eau – notre moyen de transport	52
Caractéristiques de conception	53
Courbes	54
Adaptation de la pompe à la demande thermique	55
Sélection de pompe	56
Connexion de plusieurs pompes	57







# Principes fondamentaux de la technologie des pompes

Les pompes sont des éléments essentiels dans la vie et le confort des êtres humains. Les pompes déplacent les fluides qu'ils soient chauds ou froids, propres ou sales. Elles effectuent cette opération de manière extrêmement efficace et préservent l'environnement.

Dans le bâtiment, les pompes jouent un rôle très important. Elles sont utilisées pour diverses fonctions. La plus connue de ces fonctions est la pompe de circulation de chauffage. Par conséquent, elle occupera une place prépondérante dans les pages suivantes.

En outre, les pompes sont utilisées dans les domaines de la distribution d'eau et de relevage des eaux usées :

- Surpresseurs installés lorsque la pression de l'eau de ville est insuffisante pour alimenter un bâtiment ;
- Pompes de circulation d'eau chaude sanitaire qui permettent que l'eau chaude soit disponible à chaque robinet ;
- Pompes de relevage des eaux usées qui sont nécessaires lorsque les eaux usées se trouvent à un niveau inférieur au niveau d'évacuation (égouts) ;
- Pompes de fontaines ou d'aquariums ;
- Pompes pour les applications de lutte contre les incendies ;
- Pompes pour eau froide et eau de refroidissement ;
- Systèmes d'utilisation de l'eau de pluie pour les chasses d'eau, pour les lave-linge, le nettoyage et l'irrigation ;
- Et bien d'autres applications encore.

Il est important de se rappeler à cet égard que des produits différents présentent des viscosités différentes (notamment les eaux usées brutes ou des mélanges eau-glycol). Certaines normes et directives spécifiques à chaque pays doivent être respectées, ce qui peut nécessiter le choix de pompes et de technologies spéciales (notamment, la protection contre les explosions, l'ordonnance relative à l'eau potable allemande).

L'objectif de cette brochure est de fournir une connaissance fondamentale de la technologie des pompes pour les personnes qui sont



actuellement en formation professionnelle ou en reconversion. À l'aide de phrases, de dessins et d'exemples simples et explicatifs, ce document a pour objectif de fournir une base de connaissances suffisantes pour des utilisations concrètes. Le choix et l'utilisation correctes des pompes doivent ainsi devenir des évidences au quotidien.

Dans le chapitre intitulé *Le saviez-vous...*, vous pouvez tester votre compréhension des éléments de chaque section en répondant à une série de questions à choix multiples.

Nous vous présentons également notre sélection de documents d'information afin d'obtenir une connaissance plus approfondie de ces « Principes des pompes ». Elle comprend des ressources d'auto-formation ainsi que les séminaires avec formation pratique que nous proposons.

*Consultez le chapitre sur les  
« Documents d'information »,  
page 59*







# Histoire de la technologie des pompes

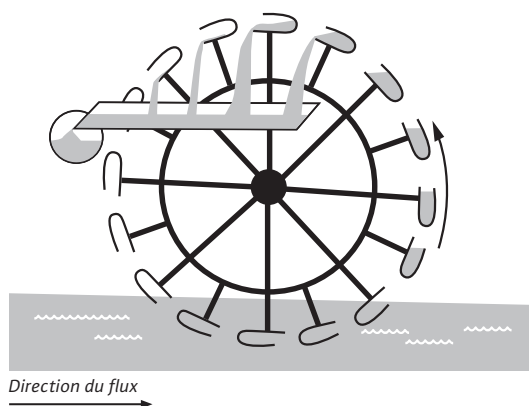
## Distribution d'eau

Lorsque nous considérons les pompes et leur histoire, nous pouvons nous rappeler que, depuis les tous premiers temps, les hommes ont recherché des moyens techniques pour amener les fluides (notamment l'eau) à un niveau plus élevé. Cette opération était utilisée pour irriguer les champs et remplir les fossés qui entouraient les villes et les châteaux fortifiés.

L'outil de bol le plus simple est la main humaine. Avec deux mains, c'est encore mieux !

Cependant, nos ancêtres préhistoriques ont rapidement eu l'idée de transformer des cuves d'argile en bols. Il s'agit de la première étape vers l'invention du seau. Plusieurs seaux étaient ensuite suspendus sur une chaîne ou une roue. Les hommes ou les animaux utilisaient leur énergie pour mettre ces bols à eau en mouvement et soulever l'eau. Des fouilles archéologiques ont mis à découvert des transporteurs de seaux de ce type en Égypte et en

### Illustration d'une roue à godets chinoise

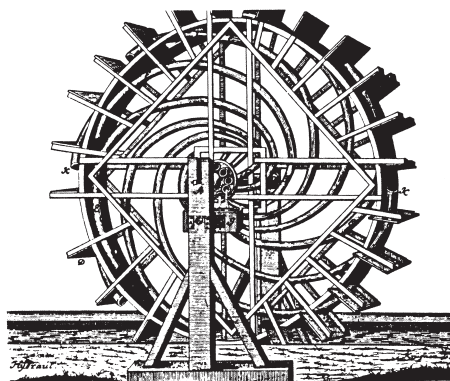


Chine à partir d'environ 1000 avant JC. L'illustration suivante est une reconstitution d'une roue à godets chinoise. Il s'agit d'une roue reliée à des godets en argile qui versent l'eau lorsqu'ils atteignent le sommet.

Une amélioration ingénieuse de ce concept a été élaborée en 1724 par Jacob Leupold (1674-1727), qui inséra des tuyaux courbés dans une roue. La rotation de la roue forçait l'eau à être soulevée au niveau de l'axe central de la roue. Le flux d'eau dans une rivière sert également d'entraînement pour cette installation de levage. Une caractéristique particulièrement remarquable de cette conception est la forme des tuyaux courbés. Elle est semblable à la forme des pompes centrifuges actuelles.

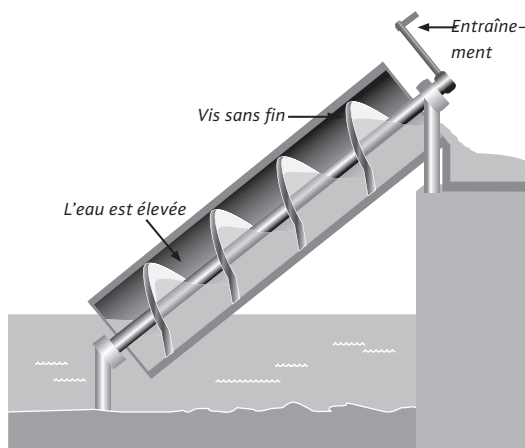
Archimède (287-212 avant JC), le plus grand mathématicien et scientifique des temps

### Illustration de la roue à eau de Jacob Leupold



anciens, a décrit la vis qui sera appelée ultérieurement par son nom en 250 avant JC. Elle soulevait de l'eau en faisant tourner une spirale/vis sans fin dans un tuyau. Cependant, une partie de l'eau retombait toujours, car on ne connaissait pas encore de joint d'étanchéité efficace. Par conséquent, une relation était observée entre l'inclinaison de la vis et le débit. Lors de l'utilisation, on peut choisir entre un débit plus important ou une hauteur de refoulement plus élevée. Plus l'inclinaison de la vis est raide, plus la hauteur de refoulement est élevée lorsque le débit diminue.

### Illustration de la vis d'Archimède



Ici également, le fonctionnement est comparable à celui des pompes centrifuges actuelles. La courbe de pompe, qui était évidemment un concept inconnu à cette époque, indique la même relation entre la hauteur de refoulement et le débit. Les informations rassemblées à partir de diverses sources historiques ont révélé que ces pompes à vis étaient actionnées à une inclinaison comprise entre 37° et 45°. Elles produisaient des hauteurs de refoulement comprises entre 2 m et 6 m et des débits maximums d'environ 10 m<sup>3</sup>/h.

Consultez le chapitre sur les  
« Roues », page 22



## Évacuation des eaux usées

Bien que l'alimentation en eau ait toujours été le besoin humain le plus essentiel, ce n'est qu'ultérieurement, voire trop tard, que l'élimination efficace des eaux usées vit le jour.

Quel que soit l'endroit auquel les implantations, villages et villes se sont formés, les excréments, poussières et eaux usées ont pollué les rues, les chemins et les autres zones ouvertes.

En plus de l'odeur nauséabonde, ces déchets provoquaient également des maladies et des épidémies. Les nappes d'eau étaient polluées et les eaux souterraines n'étaient plus potables.

Les premiers égouts ont été construits entre 3000 et 2000 avant JC. Sous le Palais de Minos à Knossos (Crête), des canaux en briques et des tuyaux en terra cotta qui servaient à la collecte et au drainage des eaux de pluie, de bain et usées, ont été découverts. Les Romains construisaient des égouts dans et sous les rues : le plus large et le plus célèbre étant le Cloaca Maxima de la ville, des parties duquel sont actuellement remarquablement préservées. À partir de là, l'eau était envoyée dans le Tibre (la ville de Cologne en Allemagne dispose également de quelques tunnels souterrains que vous pouvez traverser et qui étaient les égouts à l'époque romaine).

Comme aucun autre progrès n'a été effectué dans les milliers d'années ayant suivi, les eaux usées non traitées arrivaient toujours dans les fleuves, rivières, lacs et mers jusqu'au dix-neuvième siècle. L'industrialisation et la crois-

sance des villes ont rendu essentiels l'élimination des eaux usées.

Le premier égout centralisé et système de traitement des eaux usées en Allemagne a été créé à Hambourg en 1856.

Dans les années 90, de nombreux systèmes d'eaux usées domestiques en Allemagne sont toujours composés de fosses sceptiques et de puits de drainage. Ce n'est qu'ultérieurement que des décisions légales et des contraintes régionales ont exigé que ces systèmes soient raccordés au système d'égout public.

Aujourd'hui, les évacuations de presque tous les foyers sont raccordées directement au système d'égout public. Si cela est impossible, des installations de relevage ou des systèmes de drainage sous pression sont utilisés.

Les eaux usées industrielles et domestiques sont



amenées jusqu'à des usines de traitement des eaux. Là, elles cheminent à travers des bassins de rétention, de clarification, et seront nettoyées biologiquement ou chimiquement au cours du processus. Après traitement, l'eau est renvoyée dans le circuit naturel.

Les pompes et les systèmes de pompe les plus variés sont utilisés dans le traitement des eaux usées. En voici quelques exemples :

- Installations de relevage
- Pompes submersibles
- Pompes de puisard (avec et sans dilacérateur)
- Pompes de drainage
- Agitateurs



## Technique de chauffage

### Systèmes de chauffage hypocaustes

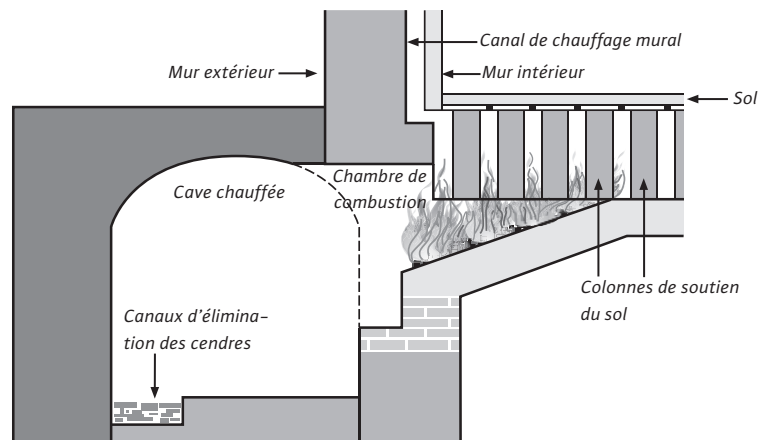
Des reliques de ce que l'on appelle des systèmes de chauffage hypocaustes des temps romains ont été découvertes en Allemagne. Celles-ci sont une forme précoce de chauffage par le sol. La fumée et l'air chaud d'un feu ouvert sont acheminés par des chambres spéciales sous les sols, chauffant ainsi les sols. Les gaz s'échappent ensuite vers l'extérieur par des conduits muraux.

Au cours des siècles suivants, particulièrement dans les châteaux et les forteresses, les cheminées, qui couvraient également des feux ouverts, n'étaient pas construites dans une direction strictement verticale. Au lieu de cela, les fumées chaudes traversaient les pièces d'habitation (une des premières formes de chauffage central). Une autre invention était une séparation du système utilisant des chambres à murs en pierre dans la cave. Le feu chauffait l'air froid qui pouvait ensuite être acheminé directement dans les pièces communes.

### Systèmes de chauffage à la vapeur

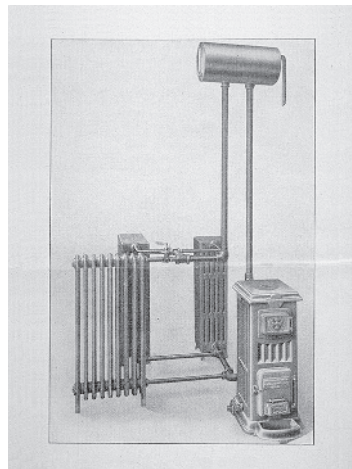
Les systèmes de chauffage à la vapeur sont un produit dérivé du moteur à vapeur qui a été largement utilisé dans la seconde moitié du 18<sup>e</sup> siècle. La vapeur résiduelle qui ne se condensait pas, était acheminée dans les bureaux et les pièces d'habitation par des échangeurs thermiques. On pensait utiliser l'énergie résiduelle d'un système de chauffage à la vapeur pour entraîner une turbine.

Illustration d'un système de chauffage hypocauste du temps romain



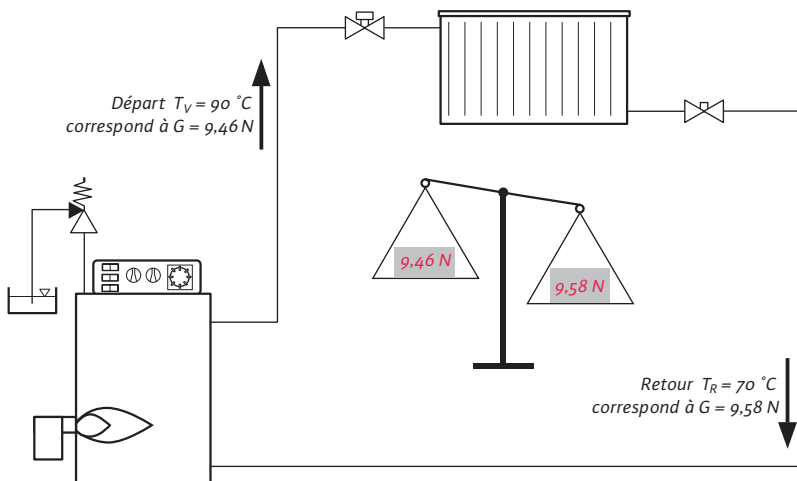
### Système de chauffage par thermosiphon

L'étape suivante du développement était le système de chauffage gravitationnel. Des expériences ont révélé que, pour fournir une température ambiante de 20°C, l'eau devait uniquement être chauffée à environ 90°C, ce qui est juste sous le point d'ébullition. L'eau chaude monte dans les tuyaux à diamètres très larges. Une fois qu'elle a libéré une partie de sa chaleur (s'est refroidie), elle s'écoule de nouveau vers la chaudière sous l'effet de la gravité.



Système de chauffage gravitationnel avec chaudière, réservoir d'expansion et radiateur

## Schéma d'un système de chauffage par thermosiphon



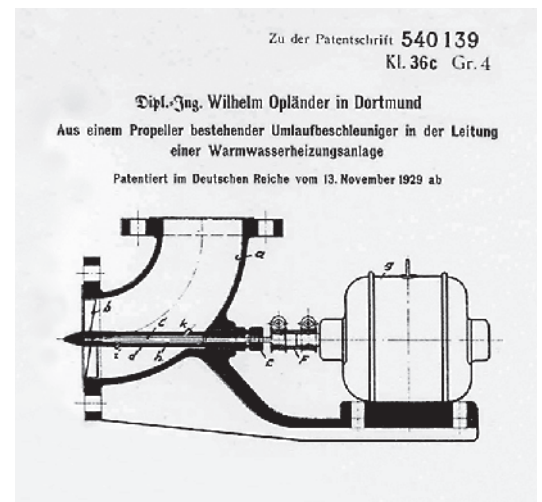
Les différentes forces gravitationnelles poussent l'eau vers le haut et le bas.

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, le démarrage lent de ce type de système de circulation par thermosiphon a mené à l'idée de construire ce que l'on appelle des « accélérateurs de circulation » dans les tuyaux du système de chauffage.

Les moteurs électriques de cette époque n'étaient pas adaptés, car ils fonctionnaient avec des rotors à bague fendue ouverte. Ceux-ci auraient pu provoquer des accidents importants dans un système de chauffage fonctionnant à l'eau.

## Première pompe de circulation de chauffage

Ce n'est que lorsque l'ingénieur Suisse Gottlob Bauknecht inventa le moteur électrique encapsulé qu'il fut possible de l'adapter à un accélérateur de circulation. Son ami, l'ingénieur Westphalien Wilhelm Opländer, mit au point une conception de ce type, pour laquelle un brevet lui fut accordé en 1929.



Une roue à pompe de la forme d'un propulseur fut installée dans un tube coudé. Entraînée par un axe étanche qui, à son tour, était entraîné par le moteur électrique.

Cependant, personne ne pensait encore à utiliser le terme de pompe pour cet accélérateur. Ce n'est qu'ultérieurement que ce terme a été utilisé dans ce contexte. Pour la raison que, comme nous l'avons déjà évoqué, les pompes étaient associées au levage de l'eau.

Ces accélérateurs de circulation ont été construits jusqu'en 1955 approximativement, et leur utilisation a permis de diminuer encore la température de l'eau de chauffage.

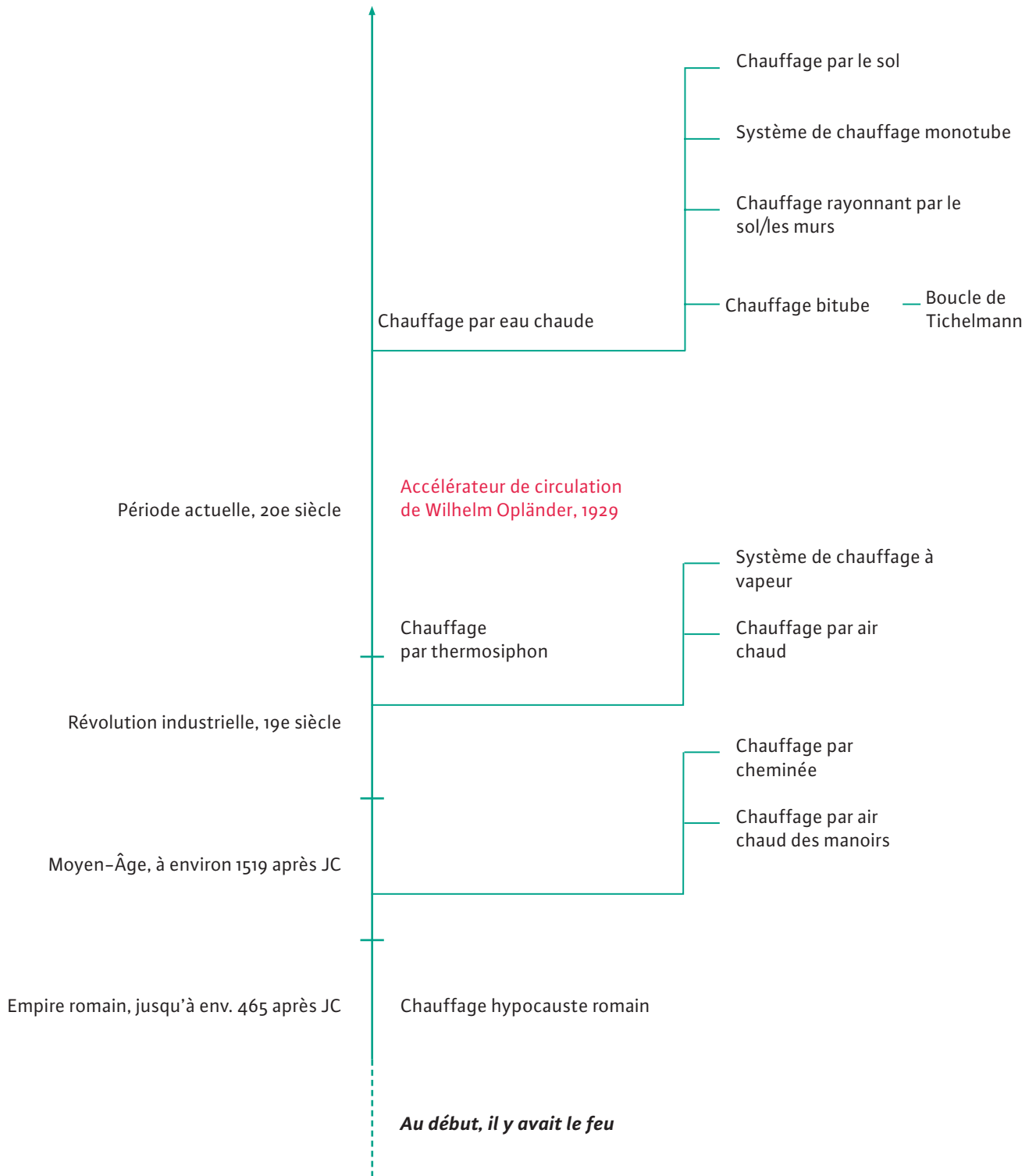
Aujourd'hui, il existe de nombreux systèmes de chauffage, les plus modernes fonctionnant à des températures d'eau très faibles. Sans le cœur de l'installation de chauffage, c'est-à-dire sans pompe de circulation, il n'y aurait pas de chauffage.



Première pompe de circulation de chauffage, la « pompe coudée », modèle de 1929, HP type DN 67/0,25 kW



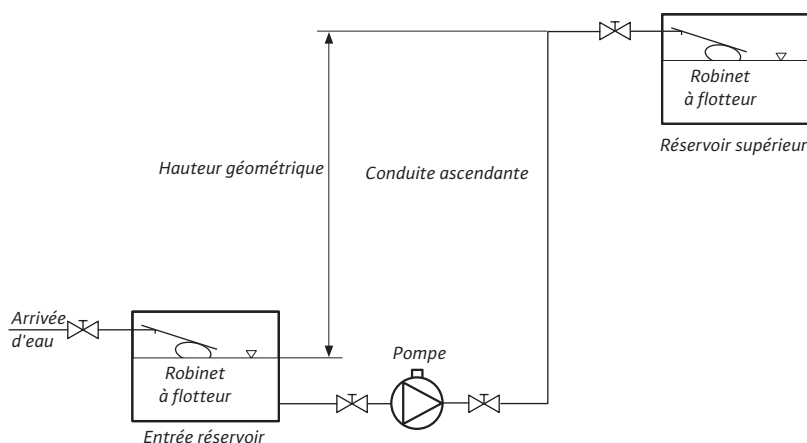
## Évolution du système de chauffage



# Systèmes de pompage

## Circuit ouvert

### Circuit ouvert



*Système de pompe destiné à relever de l'eau à un niveau supérieur*

*Consultez le chapitre sur l'« Adaptation de la pompe à la demande thermique », page 35*

Le schéma de gauche représente les composants d'un système de pompage qui relève le fluide d'un réservoir d'entrée à un niveau inférieur vers un réservoir qui se trouve à un niveau supérieur. La pompe transporte l'eau du réservoir inférieur à la hauteur requise.

Ici, il ne suffit pas de concevoir la capacité de la pompe pour une hauteur de refoulement géométrique. La raison est que la pression résiduelle doit rester suffisante au dernier robinet, par exemple la douche au dernier étage d'un hôtel. Les pertes de charges dues aux frictions contre le tuyau dans la canalisation montante doivent également être prises en compte.

Hauteur manométrique totale de la pompe =  
hauteur de refoulement géométrique + pression résiduelle + pertes de charge du tuyau.

Il faut prévoir des vannes et robinets d'isolement sur les conduites pour pouvoir effectuer les travaux d'entretien nécessaires. Cela s'avère particulièrement vrai pour les pompes, sinon de grandes quantités d'eau devront être évacuées avant que la pompe ne soit réparée ou remplacée (vidange de l'installation).

En outre, des robinets à flotteur ou autres unités de commande doivent être installées dans le réservoir d'entrée inférieur et dans le réservoir supérieur pour éviter tout débordement.

De plus, un contrôleur manométrique peut être installé dans un endroit approprié de la conduite montante pour arrêter la pompe lorsque tous les robinets sont fermés et qu'aucune eau n'est plus tirée.

## Circuit de chauffage fermé

À droite, un schéma représentant les différences fonctionnelles entre un circuit de chauffage et un système de distribution d'eau.

Alors qu'un système de pompage est un système ouvert avec une sortie ouverte (un point de prise, par exemple, un robinet), un circuit de chauffage est fermé.

Pour comprendre le principe encore plus facilement, considérez que toute l'eau chaude est maintenue en mouvement ou en circulation dans les tuyaux.

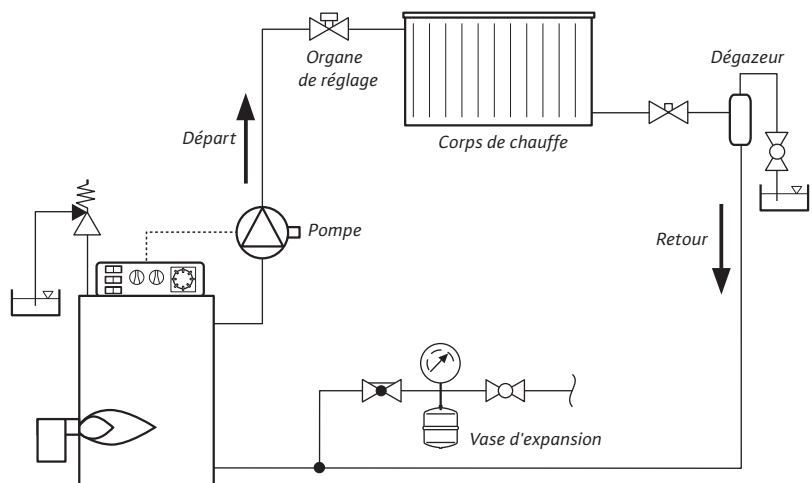
Le système de chauffage est constitué des composants suivants :

- Producteur de chaleur
- Système de transport et de répartition de la chaleur
- Vase d'expansion à membrane pour maintien et contrôle de la pression
- Corps de chauffe
- Organe de réglage
- Soupape de sécurité

Les producteurs de chaleur désignent des chaudières qui utilisent du gaz, du pétrole ou des combustibles solides mais aussi des producteurs d'eau chaude. Ils comprennent également des systèmes de chauffage par accumulation électrique pour chauffage central à l'eau, les centrales de chauffage urbain et les pompes à chaleur.

Le système de transport et de répartition de la chaleur comprend tous les tuyaux, collecteurs et distributeurs et, évidemment, la pompe de circulation. La puissance de la pompe dans un système de chauffage est calculée uniquement dans le but de vaincre les pertes de charge dues au réseau. La hauteur géométrique du bâtiment n'est pas prise en compte, car l'eau véhiculée par la pompe retourne à la chaudière.

### Circuit de chauffage fermé



Le réservoir d'expansion à membrane permet de compenser la variation de volume d'eau dans le circuit de chauffage, en fonction des températures de fonctionnement, tout en maintenant simultanément la pression.

Les corps de chauffe sont les surfaces chauffantes dans les pièces à chauffer (radiateurs, convecteurs, panneaux chauffants, etc.). L'énergie thermique se propage des points à haute température vers les points à température plus faible, et plus la différence de température est importante, plus le flux est rapide. Ce transfert a lieu au moyen de trois processus physiques différents :

- Conduction thermique
- Convection
- Rayonnement.

Aujourd'hui, on ne peut résoudre de problème technique sans une bonne régulation. Ainsi, il est tout naturel que les organes de régulation soient intégrés aux circuits de chauffage. Le plus connu de ces organes est le robinet de radiateur thermostatique destiné à maintenir une température ambiante constante. Actuellement, il existe également des régulateurs mécaniques, électroniques et électriques très perfectionnées dans les chaudières, les robinets de mélange et, évidemment, les pompes.

*Système de circulation utilisant l'exemple d'un circuit de chauffage*

**Remarque importante :**  
La hauteur géométrique du bâtiment n'est pas prise en compte, car l'eau véhiculée par la pompe retourne à la chaudière

*Consultez le chapitre sur la « Sélection d'une pompe pour les systèmes de chauffage standard », page 41*





# L'eau – notre moyen de transport

Dans les systèmes de chauffage central à eau chaude, l'eau transfère la chaleur du générateur au consommateur.

Les propriétés principales de l'eau sont les suivantes :

- Capacité de stockage thermique
- Variation de volume, lors de chauffage ou de refroidissement
- Variation de la densité en cas d'augmentation ou de diminution du volume
- Caractéristiques d'ébullition par pression externe
- Poussée d'Archimède

Ces propriétés physiques seront présentées ci-après.



## Capacité calorifique

Une propriété importante de tout fluide caloporteur est sa capacité de stockage thermique. Lorsqu'elle est exprimée en terme de masse et de différence de température du fluide, elle est considérée comme la capacité thermique spécifique.

Le symbole utilisé à cet effet est  $c$ , et l'unité de mesure est le  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

La capacité calorifique est la quantité de chaleur qu'il faut fournir pour élever de  $1^\circ\text{C}$  la température d'un kg de matière (par exemple de l'eau). A l'inverse, le matériau transfère la même quantité d'énergie lorsqu'il refroidit.

La capacité calorifique moyenne pour de l'eau entre  $0^\circ\text{C}$  et  $100^\circ\text{C}$  est :

$$c = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \text{ ou } c = 1,16 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

La quantité de chaleur absorbée ou rejetée  $Q$ , mesurée en J ou kJ, est le produit de la masse  $m$ , mesurée en kg, de la capacité calorifique  $c$ , et de la différence de température  $\Delta\vartheta$  mesurée en K.

Il s'agit de la différence entre la température d'entrée et de sortie d'un système de chauffage. La formule est :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$
$$m = V \cdot \rho$$

$V$  = Volume d'eau en  $\text{m}^3$   
 $\rho$  = Densité  $\text{kg}/\text{m}^3$

La masse  $m$  est le volume d'eau  $V$ , mesuré en  $\text{m}^3$ , multiplié par la densité  $\rho$  de l'eau, mesurée en  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Par conséquent, la formule peut également être rédigée de la façon suivante :

$$Q = V \cdot \rho \cdot c (\vartheta_v - \vartheta_R)$$

Il est vrai que la densité de l'eau change en même temps que sa température. Cependant, pour simplifier les considérations énergétiques, le calcul utilise  $\rho = 1 \text{ kg}/\text{dm}^3$  entre  $4^\circ\text{C}$  et  $90^\circ\text{C}$ .

Les termes physiques « énergie », « travail » et « quantité de chaleur » sont des équivalents.

La formule suivante est utilisée pour convertir des Joules en d'autres unités autorisées :

$$1\text{J} = 1\text{Nm} = 1\text{Ws} \text{ ou } 1\text{MJ} = 0,278\text{ kWh}$$

### Remarque :

La capacité thermique spécifique est la quantité de chaleur qui doit être transférée à 1 kg de matériau (par exemple de l'eau) afin de le chauffer de  $1^\circ\text{C}$ . A l'inverse, le matériau rejette la même quantité d'énergie lorsqu'il refroidit.

$\vartheta$  = Theta  
 $\rho$  = Rho



Augmentation et diminution de volume

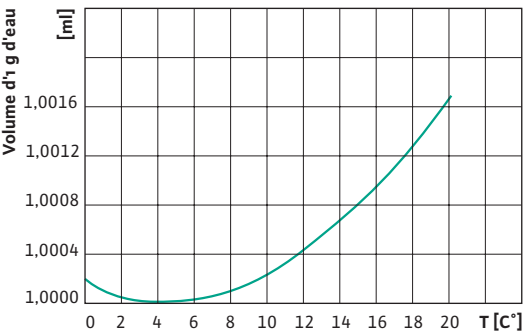
Tous les matériaux terrestres se dilatent lorsqu'ils sont chauffés ou se contractent lorsqu'ils sont refroidis. La seule exception à cette règle est l'eau. Cette propriété unique est appelée anomalie de l'eau.

La densité de l'eau la plus élevée se situe à +4°C, ce qui correspond à 1 dm³ = 1 l = 1 kg.

L'eau se dilate également lorsqu'elle est refroidie à une température inférieure à +4°C. Cette anomalie de l'eau est la raison pour laquelle les rivières et les lacs gèlent en hiver. C'est la raison pour laquelle la banquise flotte sur l'eau, lui permettant de fondre au soleil d'été. Cela serait impossible si la glace tombait au fond, car elle serait précisément plus lourde.

Changement du volume d'eau

Changement du volume d'eau si chauffée/refroidie.  
Densité la plus élevée à 4°C :  
 $\rho_{max} = 1000 \text{ kg/m}^3$



Cependant, ce comportement d'expansion peut être périlleux lorsque des êtres humains utilisent l'eau. Par exemple, les moteurs automobiles et les conduites d'eau explosent s'ils gèlent. Pour empêcher cela, des composés antigels sont ajoutés à l'eau. Dans les systèmes de chauffage, on utilise souvent des glycols ; consultez les spécifications du fabricant pour connaître les proportions de glycol.

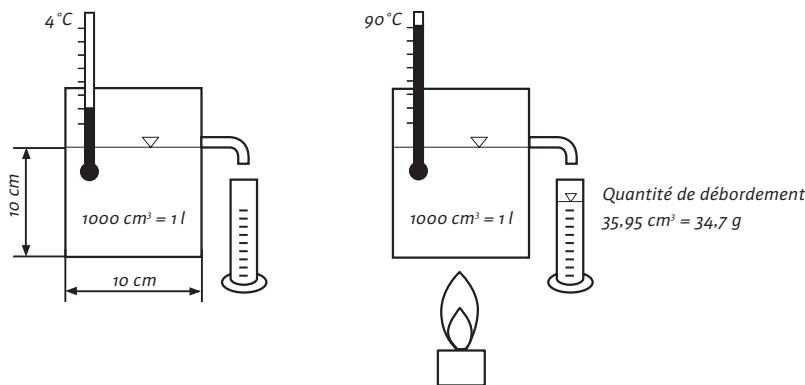
Si de l'eau est chauffée ou refroidie à ce point de température, son volume augmente, c'est-à-dire que sa densité diminue et qu'elle devient respectivement plus légère.

Cela est très visible dans un réservoir dont l'on mesure le débordement.

Dans le réservoir, 1 000 cm³ d'eau exactement sont à une température de +4°C. Si l'eau est chauffée, une partie s'écoule par le dispositif de débordement dans le verre de mesure. Si l'eau est chauffée à 90°C, il y a précisément 35,95 cm³, ce qui correspond à 34,7 g, dans le verre de mesure.

Un volume d'eau de 1000 cm³ contient 1000 g à 4°C

1000 cm³ d'eau à 90°C = 965,3 g



Lorsque de l'eau est chauffée ou refroidie, à partir de 4 °C sa densité diminue, c'est-à-dire qu'elle devient respectivement plus légère et que son volume augmente.



## Caractéristiques d'ébullition de l'eau

Si de l'eau est chauffée à plus de 90°C, elle bouera dans un récipient ouvert à 100°C. Si la température de l'eau est mesurée au cours du processus d'ébullition, elle reste constante à 100°C jusqu'à ce que la dernière goutte se soit évaporée. Par conséquent, l'alimentation constante en chaleur est utilisée pour évaporer totalement l'eau et ainsi modifier son état. Cette énergie est également appelée chaleur latente. Si de la chaleur est encore appliquée, la température monte à nouveau.

La condition nécessaire pour la réalisation de l'expérience ci-dessus, est la condition de pression normale (NN) de 1,013 hPa qui s'applique au niveau de l'eau. À toute autre pression atmosphérique, le point d'ébullition est différent de 100°C.

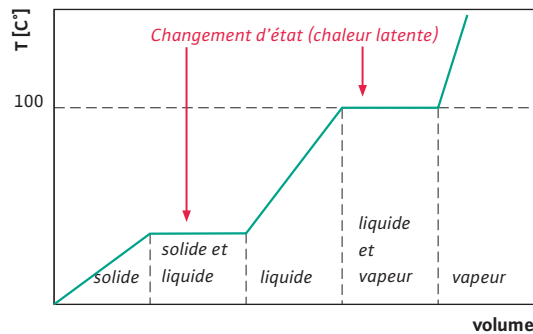
Si nous devons reproduire l'expérience décrite ici à une altitude de 3000 m (par exemple dans les Alpes), nous constaterions que l'eau bout déjà à 90°C. La cause de ce comportement est le fait que la pression d'air diminue à des altitudes élevées.

Plus la pression de l'air qui s'exerce sur la surface de l'eau est faible, plus le point d'ébullition est faible. Inversement, la température d'ébullition peut être augmentée en augmentant la pression à la surface de l'eau. Ce principe est utilisé dans les cocottes-minute, par exemple.

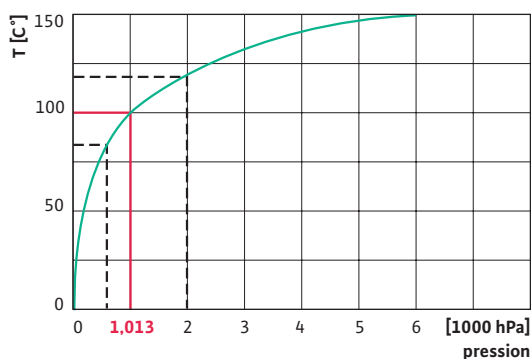
Le graphique sur la droite représente la manière dont la température d'ébullition de l'eau varie en fonction de la pression.

Les systèmes de chauffage sont par conséquent pressurisés. Cette opération empêche la formation de bulles de gaz dans des états de fonctionnement critiques. Elle empêche également la pénétration d'air extérieur dans le système d'eau.

### Changement d'état lorsque la température augmente



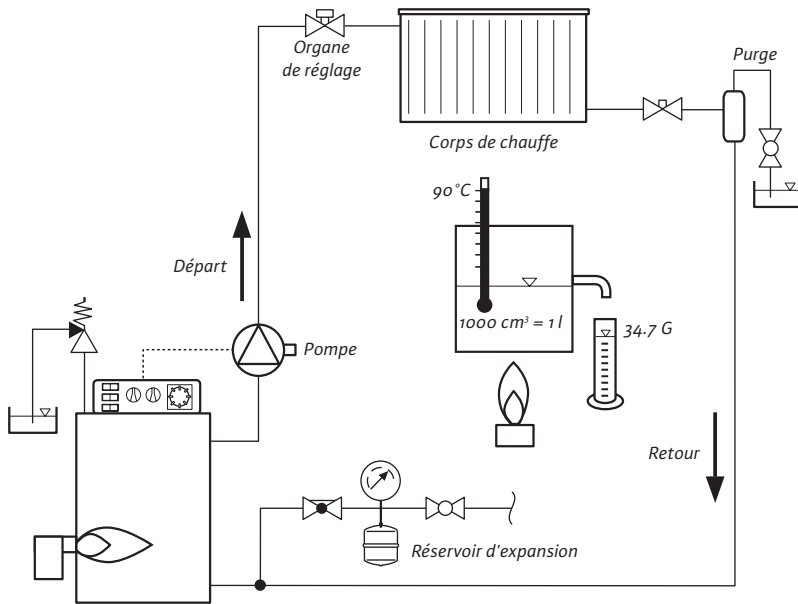
### Point d'ébullition de l'eau en fonction de la pression



## Expansion de l'eau de chauffage et protection contre la surpression

Les systèmes de chauffage à eau chaude utilisent de l'eau dont la température peut atteindre 90°C. L'eau est généralement à une température de 15°C lors du remplissage, puis se dilate lorsqu'elle est chauffée. Cette augmentation de volume ne doit pas engendrer de surpression ou de fuite.

### Illustration d'un système de chauffage à soupape de sécurité intégrée



Lorsque le chauffage est arrêté en été, l'eau revient à son volume précédent. Par conséquent, un réservoir suffisamment grand doit être prévu pour l'eau d'expansion. Les anciens systèmes de chauffage étaient équipés de réservoirs d'expansion ouverts. Ceux-ci sont toujours situés au dessus de la section de tuyauterie la plus élevée. Lorsque la température de chauffage augmente, provoquant l'expansion de l'eau, le niveau d'eau dans ce réservoir augmente également. Inversement, il diminue lorsque la température de l'eau diminue.

Les systèmes de chauffage actuels utilisent des vases d'expansion à membrane (DET).

On doit s'assurer que, lorsque la pression du système augmente, les tuyaux et les autres parties du système ne soient pas soumis à une pression dépassant les tolérances. Par conséquent, il est obligatoire d'équiper chaque système de chauffage d'une soupape de sécurité.

**Remarque importante :**  
Lorsque la pression est excessive, la soupape de sécurité doit s'ouvrir et évacuer l'eau d'expansion.

Lorsque la pression est excessive, la soupape de sécurité doit s'ouvrir et évacuer l'eau d'expansion qui ne peut être conservée dans le vase d'expansion à membrane. Cependant, dans un système soigneusement conçu et entretenu, cet état de fonctionnement ne doit jamais se produire.

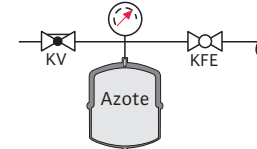
Les considérations précédentes ne tenaient pas compte de la pompe de circulation de chauffage qui augmente encore la pression du système.

L'interaction de la température maximale de l'eau de chauffage, la pompe choisie, la dimension du vase d'expansion à membrane et le point de réponse de la soupape de sécurité doivent être pris en compte très soigneusement. Une sélection aléatoire des composants du système (ou même en fonction du prix d'achat) ne peut être admise.

Le réservoir est livré rempli d'azote. La pression d'entrée du vase d'expansion à membrane doit être réglée en fonction du circuit de chauffage. L'eau d'expansion du système de chauffage entre dans le réservoir et comprime le coussin gazeux par l'intermédiaire de la membrane. Les gaz peuvent être comprimés mais les liquides sont incompressibles.

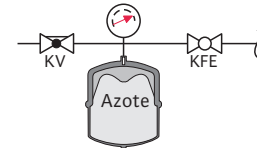
Compensation du changement de volume de l'eau dans le système de chauffage :

(1) Vase d'expansion lors de l'installation



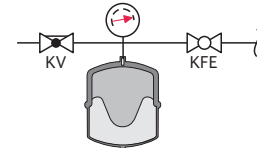
Pression de remplissage du vase 1,0/1,5 bar

(2) Installation remplie à froid



Réserve d'eau : pression du vase + 0,5 bar

(3) Installation à température maxi



Volume d'eau = réserve d'eau + expansion

Pression

Définition de la pression

La pression est la pression statique mesurée de liquides et de gaz dans des récipients ou des tuyaux par rapport à l'atmosphère (Pa, mbar, bar).

Pression d'équilibre

La pression est statique lorsqu'aucun fluide ne s'écoule.  
Pression d'équilibre = hauteur de remplissage + pression de remplissage dans le vase d'expansion à membrane.

Pression hydrodynamique

La pression est dynamique lorsqu'un fluide s'écoule. Pression hydrodynamique = pression dynamique - pertes de charge.

Pression de pompe

Pression générée au refoulement de la pompe centrifuge en fonctionnement. Cette valeur peut être différente de la pression différentielle, suivant le circuit.

Pression différentielle

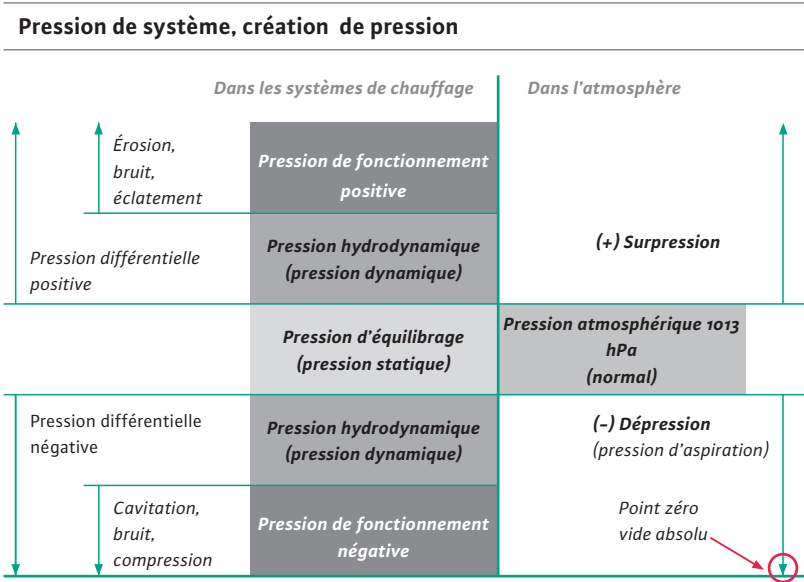
Pression générée par la pompe centrifuge pour surmonter la somme de toutes les résistances dans un système. Elle est mesurée entre l'aspiration et le refoulement de la pompe centrifuge. En raison des pertes de charges engendrées par les différents composants du circuit - tuyauterie, robinets, chaudière et corps de chauffe -, la pression différentielle varie en tous points du circuit.

Cavitation

La cavitation est provoquée par la formation et l'implosion de bulles de gaz provenant de la formation d'une pression négative locale sous l'effet de la pression de vaporisation du fluide pompé à l'entrée de la roue. Cela a pour conséquence un rendement (hauteur de refoulement) et une efficacité moindres et provoque un fonctionnement irrégulier, du bruit et des dommages à l'intérieur de la pompe.

Par l'expansion et l'éclatement (implosion) de petites bulles d'air dans des zones à haute pression (par exemple, à un état avancé, à la sortie de la roue), des explosions microscopiques provoquent des impacts qui endommagent ou détruisent l'hydraulique. Les premiers signes sont le bruit provenant de l'entrée de la roue et les dommages qui lui sont causés.

Le NPSH est une valeur importante de la pompe centrifuge (Net Positive Suction Head). Il indique la pression minimale requise par ce type de pompe afin de fonctionner sans cavitation, c'est-à-dire la surpression nécessaire pour empêcher l'évaporation du fluide et le conserver à l'état de liquide.



Pression de fonctionnement

Pression qui existe ou peut exister lors du fonctionnement d'un système ou de certaines parties de celui-ci.

Pression de fonctionnement admissible

Valeur maximale de la pression de fonctionnement déterminée pour des raisons de sécurité.

Le NPSH dépend, d'une part de la construction de la pompe : type de roue, vitesse de rotation ; d'autre part des conditions de fonctionnement : la température du fluide, la charge d'eau et la pression atmosphérique.

Éviter la cavitation

Pour éviter la cavitation, le fluide pompé doit être soumis à une pression statique minimale. Cette hauteur d'eau d'entrée minimale dépend de la température et de la pression du fluide pompé.

Quelques manières d'empêcher la cavitation :

- Augmentation de la pression statique
- Diminution de la température du fluide (réduction de la tension de vapeur PD)
- Choix de pompe avec garde d'eau plus faible à l'entrée
- Choix de pompe avec hauteur d'entrée d'eau minimale, NPSH







# Conception des pompes centrifuges

Dans le domaine de la plomberie et du génie climatique, les pompes centrifuges font l'objet des utilisations les plus variées. Elles se différencient par leur conception et suivant leur fonctionnement.

## Pompes auto-amorçantes et sans amorçage automatique

Une pompe auto-amorçante est capable de remplir le tuyau d'aspiration, c'est-à-dire évacuer de l'air. Dans le cas contraire, la pompe peut nécessiter plusieurs remplissages lors de la mise en service. La hauteur d'aspiration max. théorique est de 10,33 m et dépend de la pression atmosphérique (1013 hPa = normal).

Pour des raisons techniques, seule une hauteur d'aspiration max.  $h_s$  de 7-8 m peut être obtenue. Cette valeur comprend non seulement la différence de hauteur entre la surface d'eau la plus basse par rapport à la bride d'aspiration de la pompe, mais également les pertes de charge dans les tuyaux de raccordement, la pompe et la robinetterie.

Lors de la sélection de la pompe, notez que la hauteur d'aspiration  $h_s$  doit être comprise dans la hauteur de refoulement prévue, précédée d'un signe moins.

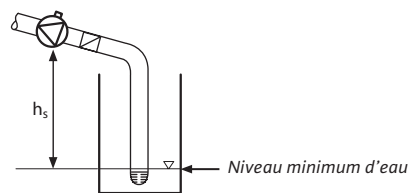
Le tuyau d'aspiration doit avoir au moins le même diamètre nominal que la bride de la pompe, ou un diamètre nominal supérieur si possible. Sa longueur doit être aussi courte que possible.

De longues conduites d'aspiration créent des résistances aux frictions accrues qui nuisent beaucoup à la hauteur d'aspiration.

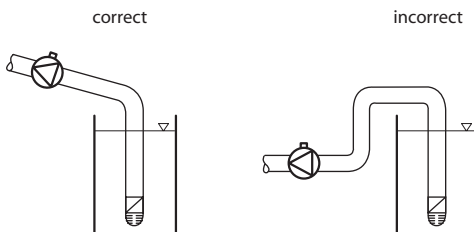
La conduite d'aspiration doit être positionnée en pente ascendante constante vers la pompe. Si un matériau flexible est utilisé pour le tuyau d'aspiration, les tuyaux d'aspiration en spirale sont préférables en raison de leur longueur et de leur résistance. Il est impératif d'éviter les fuites, car elles provoquent des dommages et un mauvais fonctionnement de la pompe.

Pour un fonctionnement en aspiration, il est recommandé d'utiliser un clapet de pied afin d'empêcher la vidange de la pompe et du tuyau d'aspiration. Un clapet de pied crépine protège également la pompe et les systèmes en aval des grosses impuretés telles que des feuilles, du bois, des cailloux et des insectes. S'il n'est pas possible d'utiliser un clapet de pied, en aspiration, un clapet/antiretour doit être installé en amont de la pompe (à l'aspiration de la pompe).

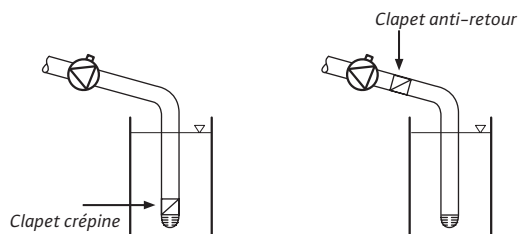
### Hauteur d'aspiration de la pompe $h_s$



### Positionnement du tuyau d'aspiration



### Opération d'aspiration



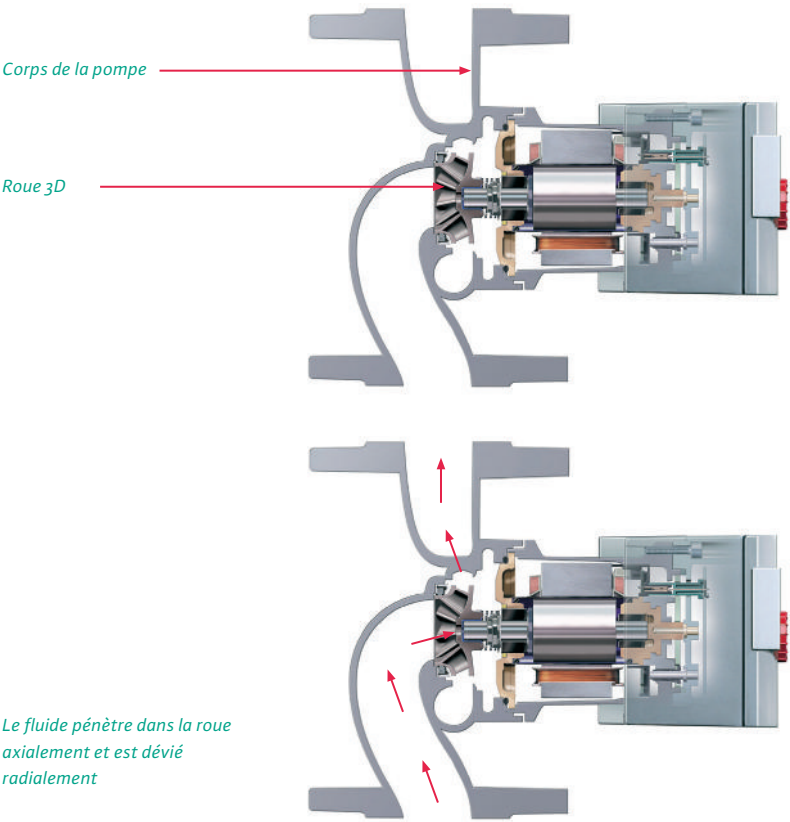
Installation avec clapet de pied ou clapet/antiretour

Une pompe sans amorçage automatique ne peut pas évacuer l'air de la conduite d'aspiration.

Pour l'utilisation de pompes sans amorçage automatique, la conduite d'aspiration de la pompe d'aspiration doit être remplie totalement en permanence. Si de l'air pénètre dans la pompe par des points de fuite, notamment le presse-étoupe du clapet de retenue ou au travers d'un clapet de pied dans le tuyau d'aspiration qui ne se ferme pas, la pompe et le tuyau d'aspiration doivent être remplis de nouveau.



Coupe d'une pompe à rotor noyé



Fonctionnement des pompes centrifuges

Les pompes sont nécessaires pour le transfert des fluides et pour contrer les résistances engendrées par le flux dans le circuit hydraulique. Dans les systèmes de pompage avec différents niveaux de fluide, cela implique également de surmonter la différence de hauteur géométrique.

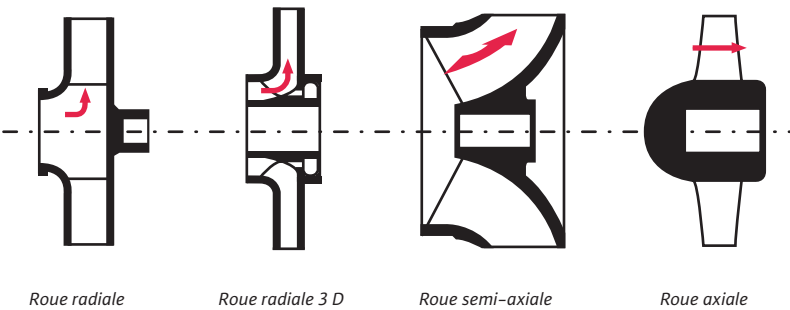
En raison de leur conception et de leur fonctionnement, les pompes centrifuges sont productrices de courant hydraulique. Bien qu'il y en ait de nombreux types, une caractéristique commune à toutes les pompes centrifuges est que le fluide entre dans une roue axialement.

Un moteur électrique entraîne l'axe de la pompe sur lequel est logé la roue. L'eau qui entre dans la roue axialement par la bride d'aspiration et le goulot d'aspiration est déviée par les aubes de la roue dans un mouvement radial. Les forces centrifuges qui affectent chaque particule du fluide provoquent une augmentation de la vitesse et de la pression lorsque l'eau s'écoule au travers de la zone des aubes.

Lorsque le fluide sort de la roue, il est collecté dans la volute. La vitesse du flux est ralentie quelque peu par la construction de la volute. La pression est en outre augmentée par la conversion d'énergie.

- Une pompe présente les composants suivants :
- Corps de pompe
  - Moteur
  - Roue

Types de roue



Roues

Il existe de nombreux types de roues qui peuvent être ouvertes ou fermées.

Les roues dans la majorité des pompes actuelles ont une conception en 3D qui associe les avantages d'une roue axiale à ceux d'une roue radiale.

Rendement de pompe

Le rendement d'une machine est le rapport de sa puissance restituée sur sa puissance fournie. Ce rapport est symbolisé par la lettre grèque  $\eta$  (eta).

Comme il n'existe pas de fonctionnement sans perte,  $\eta$  est toujours inférieur à 1 (100 %). Pour une pompe de circulation de chauffage, le rendement total est composé du rendement du moteur  $\eta_M$  (électrique et mécanique) et du rendement hydraulique  $\eta_P$ . La multiplication de ces deux valeurs génère l'efficacité totale  $\eta_{tot}$ .

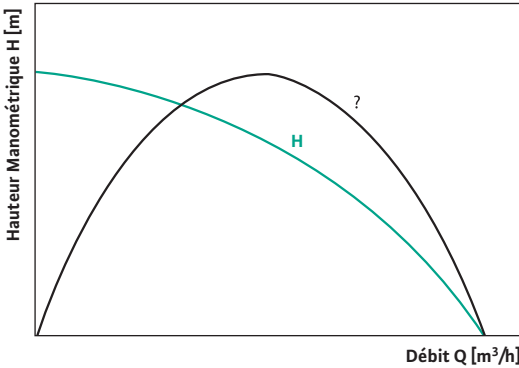
$\eta_{tot} = \eta_h \cdot \eta_P$

En fonction des types et des dimensions des pompes prises en compte, le rendement peut varier grandement. Pour les pompes à rotor noyé, les rendements  $\eta_{tot}$  sont compris entre 5 % et 54 % (pompe haut rendement) ; pour les pompes à moteur ventilé,  $\eta_{tot}$ , il varie entre 30 % et 80 %.

Sur la courbe de pompe, le rendement instantané varie également entre zéro et une valeur maximale.

Lorsque la pompe fonctionne avec vanne fermée, on obtient une forte pression, mais le rendement de la pompe est nul car aucun débit d'eau ne circule. Bien que le débit d'eau soit important, il n'y a pas de pression et le rendement est nul.

Courbe de pompe et rendement



Le meilleur rendement total de la pompe de circulation de chauffage se trouve au centre la courbe de pompe. Dans les catalogues des fabricants de pompe, ces points de fonctionnement optimums sont précisément identifiés pour chaque pompe.

Une pompe ne fonctionne jamais en un seul point défini. Par conséquent, lors de la sélection, assurez-vous que le point de fonctionnement de la pompe se trouve au milieu du premier tiers de la courbe de la pompe pour la majeure partie de la saison de chauffage. Cela garantira qu'elle fonctionnera dans la meilleure plage de rendement.

Le rendement de la pompe est déterminé par la formule suivante :

$$\eta_P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{367 \cdot P_2}$$

- $\eta_P$  = Rendement de la pompe
- $Q [m^3/h]$  = Débit
- $H [m]$  = Hauteur de refoulement
- $P_2 [kW]$  = Puissance à l'arbre de pompe
- 367 = Constante
- $\rho [kg/m^3]$  = Densité du fluide

Le rendement (ou performance) d'une pompe dépend de sa conception.

Les tableaux suivants fournissent un aperçu des rendements en fonction de la puissance de moteur sélectionnée et de la conception de la pompe (avec/sans presse-étoupe).

Rendement des pompes à rotors noyés standards (valeurs de référence)

Pompes avec une puissance moteur $P_2$		$\eta_{tot}$
jusqu'à 100 W	approx. 5 % – approx. 25 %	
100 à 500 W	approx. 20 % – approx. 40 %	
500 à 2500 W	approx. 30 % – approx. 50 %	

Rendement des pompes à moteur ventilé (valeurs de référence)

Pompes avec une puissance moteur $P_2$		$\eta_{tot}$
jusqu'à 1,5 kW	approx. 30 % – approx. 65 %	
1,5 à 7,5 kW	approx. 35 % – approx. 75 %	
7,5 à 45,0 kW	approx. 40 % – approx. 80 %	

## Consommation d'énergie des pompes centrifuges

Comme nous l'avons vu dans un chapitre précédent, un moteur électrique entraîne l'axe de la pompe sur lequel la roue est logée. L'augmentation de pression générée dans la pompe et le débit circulant à travers la pompe sont la résultante hydraulique de l'énergie électrique utilisée. L'énergie nécessaire au moteur est appelée la consommation énergétique  $P_1$  de la pompe.

Consultez le chapitre sur les  
« Courbes », page 31

### Courbes de performances des pompes

Les courbes de performances des pompes centrifuges sont représentées sur un diagramme : l'axe vertical, les ordonnées, indiquent la puissance énergétique  $P_1$  de la pompe en watts [W]. L'axe horizontal – ou abscisse – indique le débit  $Q$  de la pompe en mètre cube par heure [ $m^3/h$ ] (il en va de même pour la courbe de pompe que nous aborderons ci-après). Les graduations sont indiquées suivant une même échelle. Dans les catalogues, ces deux courbes sont fréquemment

superposées pour mettre en valeur les relations existantes entre les deux.

La courbe de puissance indique la relation suivante : la consommation d'énergie du moteur est inférieure lorsque le débit est également faible. Lorsque le débit augmente, la consommation d'énergie augmente également. Cependant, la consommation d'énergie évolue à une vitesse beaucoup plus rapide que le débit.

### Influence de la vitesse de rotation du moteur

Si la vitesse de la pompe change mais que les autres conditions du système restent identiques, la consommation d'énergie  $P$  évolue au cube de la vitesse  $n$ .

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

En fonction de cet élément, la pompe peut être contrôlée de manière logique et adaptée à la demande en énergie de chauffage. Si la vitesse est doublée, le débit augmente dans la même proportion. La hauteur de refoulement est quadruplée. L'énergie d'entraînement nécessaire est alors multipliée par huit. Si la vitesse diminue, le débit, la hauteur de refoulement dans le système de tuyaux et la consommation d'énergie sont tous réduits dans la même proportion.

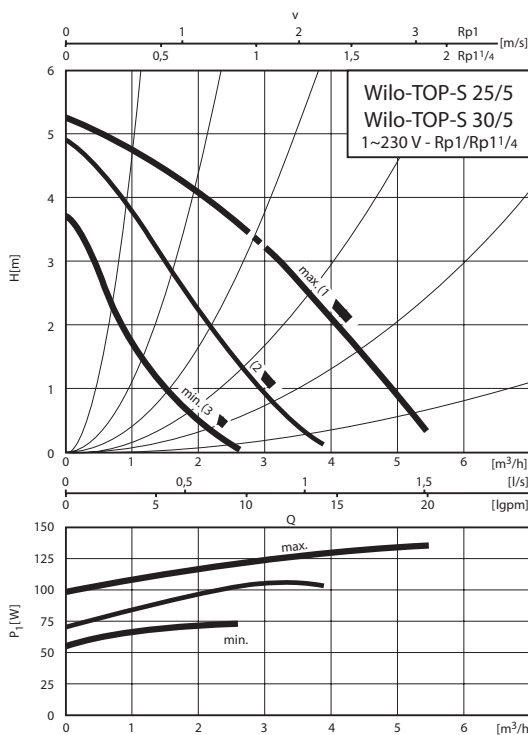
### Vitesses fixes relatives à la conception

Une caractéristique distinctive de la pompe centrifuge est la hauteur de refoulement qui dépend du moteur utilisé et de la vitesse fixe définie. Les pompes présentant une vitesse de  $n > 1500$  tr/min sont appelées des pompes haute vitesse et les pompes présentant une vitesse de  $n < 1500$  tr/min sont appelées des pompes à faible vitesse.

La conception du moteur des pompes à faible vitesse est un peu plus complexe et elles peuvent ainsi se révéler plus coûteuses. Cependant, dans les situations pour lesquelles l'utilisation d'une pompe à faible vitesse est possible ou même nécessaire en raison des conditions du réseau de chauffage, l'utilisation d'une pompe à vitesse élevée aurait pour résultat une consommation d'énergie inutilement élevée. Par conséquent, le prix d'achat plus élevé d'une pompe à faible vitesse est compensé par les économies importantes d'énergie consommée. Cela rembourse rapidement l'investissement de départ.

Grâce à une variation de débit par régulation de vitesse de rotation adaptée aux besoins énergétiques du système, il est possible de réaliser des économies substantielles.

Courbe de pompe Wilo-TOP-S



Relation entre la courbe de  
pompe et la courbe de  
puissance

Consultez le chapitre sur la  
« Régulation de vitesse variable  
», page 36



## Circulateur à rotor noyé

Par l'adjonction d'un circulateur à rotor noyé, que ce soit sur le départ ou le retour, celui-ci permet de déplacer l'eau plus rapidement et fortement. En conséquence, des conduites de section plus petite peuvent être utilisées. Elles diminuent le coût de l'installation de chauffage, c'est-à-dire qu'il y a également bien moins d'eau dans le circuit de chauffage. Le système de chauffage peut répondre plus rapidement aux fluctuations de température et peut être mieux régulé.

### Caractéristiques

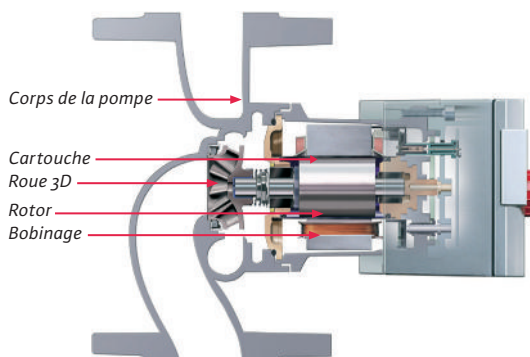
La caractéristique particulière d'une roue de pompe centrifuge est son accélération radiale de l'eau. L'axe qui entraîne la roue est en acier inoxydable ; les paliers de cet axe sont en carbone ou en céramique. Le rotor du moteur qui est logé sur l'axe, baigne dans le fluide. L'eau lubrifie les paliers et refroidit le moteur.

Une cartouche entoure les bobinages du moteur. Elle est constituée d'acier inoxydable non magnétisable ou de fibre de carbone et présente une épaisseur de 0,1 à 0,3 mm.

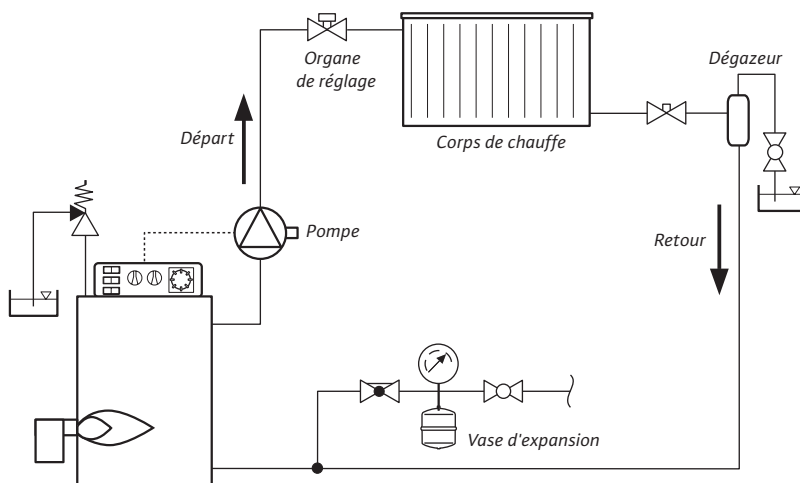
Pour des applications spécifiques telles que des systèmes de pompage d'eau, les moteurs des pompes sont utilisés à vitesse fixe.

Lorsque le circulateur à rotor noyé est utilisé dans un circuit de chauffage, par exemple, doit fournir de l'énergie thermique à des radiateurs, il doit s'adapter à la demande thermique variable de la maison. En fonction de la température extérieure et des fluctuations de charge, un débit d'eau de chauffage différent est nécessaire. Les robinets thermostatiques des radiateurs, installés sur les corps de chauffe, déterminent le débit.

Ainsi, les moteurs des circulateurs à rotor noyé peuvent être commutés sur différentes vitesses.



### Circuit de chauffage avec pompe



Le changement de vitesse peut être effectué manuellement ou à l'aide de commutateur. L'automatisation peut être obtenue en ajoutant des systèmes d'interrupteurs et de commande externes.

Une automatisation en fonction du temps, de la pression ou de la température est réalisable à l'aide de coffrets de commande et régulation externes.

Depuis 1988, des modèles avec dispositifs électroniques intégrés ont été conçus, permettant une variation de vitesse continue..

Le raccordement électrique des circulateurs à rotor noyé, varie suivant la dimension et le débit souhaité de la pompe, soit en monophasé 1~230 V CA soit en triphasé 3~400 V.

Les circulateurs à rotor noyé se distinguent par un fonctionnement fiable et silencieux, sans risque de fuite grâce à leur conception.

La génération actuelle de circulateurs à rotor noyé est conçue sur le principe modulaire. En fonction de la dimension de la pompe et de son débit, les modules sont disposés dans différentes configurations. Par conséquent, les réparations s'avérant nécessaires peuvent être effectuées plus simplement en remplaçant uniquement les composants.

Une propriété importante de ce type de circulateurs tient à son dégazage automatique à la mise en service.

*Avantages : diamètres de tubes inférieurs, contenance en eau réduite, réaction plus rapide aux fluctuations de température, coûts d'installation plus faibles*



*Premier circulateur à rotor noyé entièrement électronique avec variation de vitesse intégrée*

## Positions de montage

Les circulateurs à rotor noyé ayant une bride maxi  $R = 1'' \frac{1}{4}$  sont équipés de raccords à visser. Les pompes de taille plus importante sont fournies avec des raccords à brides. Ces pompes peuvent être installées sur la tuyauterie, horizontalement ou verticalement, sans socle.

Comme indiqué précédemment, les paliers de la pompe de circulation sont lubrifiés par le fluide. Ce dernier sert également à refroidir le moteur. La circulation doit donc toujours se faire dans la cartouche.

De plus, l'axe de la pompe doit toujours être installé horizontalement (circulateur à rotor noyé, chauffage). L'installation avec un axe vertical ou suspendu verticalement provoque un fonctionnement instable et une détérioration rapide de la pompe.

Consultez la notice de mise en service et d'entretien pour de plus amples informations sur les positions de montage autorisées.

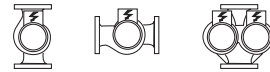
Les circulateurs à rotor noyé que nous avons décrits présentent de bonnes caractéristiques de fonctionnement au vu de leur conception. Ils sont relativement peu coûteux.

## Positions de montage des circulateurs à rotor noyé (extrait)

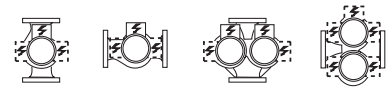
### Positions d'installation interdites



### Autorisées sans restriction pour les circulateurs à variation de vitesse



### Autorisées sans restriction pour les pompes à 1, 3 ou 4 vitesses



## Pompes à moteur ventilé

### Caractéristiques

Les pompes à moteur ventilé sont utilisées pour le pompage de forts débits. Elles sont également mieux adaptées au pompage de l'eau de refroidissement et de fluides agressifs. À l'inverse des circulateurs à rotor noyé, le fluide n'entre pas en contact avec le moteur, d'où la dénomination rotor sec.

Une autre différence par rapport aux circulateurs à rotor noyé se situe dans le principe d'étanchéité du circuit hydraulique du corps de pompe par rapport à l'atmosphère (arbre de la pompe). Il s'agit d'une presse-étoupe ou d'une garniture mécanique.

Les moteurs des pompes à garniture mécanique standard sont des moteurs triphasés normaux à vitesse fixe. Leur régulation s'effectue par variateur électronique extérieur. Aujourd'hui, les pompes à garniture mécanique peuvent être équipées de vitesses électroniques intégrées qui, grâce aux développements technologiques, sont disponibles pour des puissances de moteur de plus en plus élevées.

Le rendement total des pompes à garniture mécanique est sensiblement meilleur que celui des pompes à rotor noyé.

Les pompes à garniture mécanique sont divisées en trois conceptions de base principales :

#### Pompes en ligne

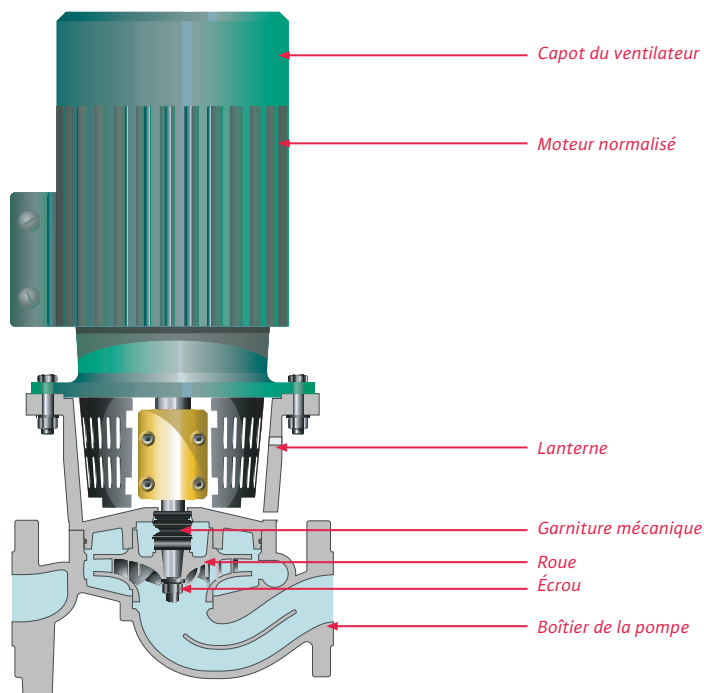
Les pompes dans lesquelles la bride d'aspiration et de refoulement sont dans un même axe et présentent le même diamètre nominal sont appelées des pompes en ligne. Les pompes en ligne sont équipées de moteur normalisé refroidi par air et monté sur bride.

Dans le domaine du génie climatique, ce type de construction est utilisé pour de fortes puissances. Ces pompes peuvent être installées directement sur la tuyauterie. Sinon, la tuyauterie est maintenue par des supports mais la pompe peut être installée sur socle ou ses propres consoles.

#### Pompes monobloc

Les pompes monobloc sont des pompes centrifuges basse pression à vitesse fixe, de conception bloc avec un moteur normalisé refroidi par air. Le corps de la volute présente une bride d'aspiration axiale et une bride de refoulement radiale. Les pompes sont équipées de série, de pattes moteur ou d'équerres permettant la fixation sur socle.

### Structure d'une pompe à garniture mécanique



#### Pompes normalisées

Pour les pompes centrifuges à entrée d'air axiale, la pompe, l'accouplement et le moteur sont montés sur un même socle-support et sont ainsi prévus pour une installation sur massif bétonné.

En fonction du fluide et des conditions d'utilisation, elles sont pourvues d'une garniture mécanique ou d'un presse-étoupe. La bride de refoulement verticale détermine le diamètre nominal de ces pompes. La bride d'aspiration horizontale est généralement d'un diamètre nominal plus grand.

Consultez le chapitre sur  
« Les joints d'axe », page 28



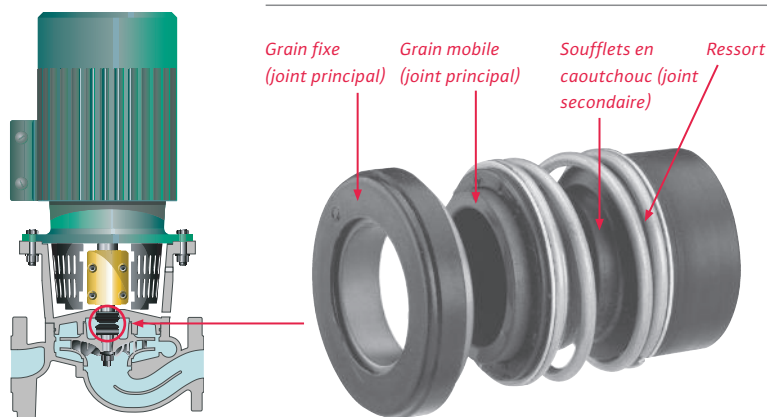
## Remarque importante :

Les garnitures mécaniques sont des pièces d'usure. Le fonctionnement à sec n'est pas autorisé et aura pour conséquence la destruction des surfaces de joint.

## Étanchéité de l'arbre

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, l'étanchéité de l'arbre par rapport à l'atmosphère peut être réalisée par une garniture mécanique ou un presse-étoupe. Les descriptions de ces deux options d'étanchéité sont présentées ci-après.

### Garniture mécanique d'une pompe à moteur ventilé



## Garnitures mécaniques

La conception de base des garnitures mécaniques présente deux anneaux avec des surfaces d'étanchéité finement polies. Elles sont assemblées par un ressort et se trouvent l'une contre l'autre en fonctionnement. Les garnitures mécaniques sont des joints dynamiques utilisés pour étanchéifier les arbres tournants à des pressions de fonctionnement moyen voire importantes.

La zone d'étanchéité de la garniture mécanique comprend deux surfaces, résistantes à l'usure (anneaux de silicone ou de carbone, par exemple), qui sont maintenues ensemble par des forces axiales. Le grain mobile (dynamique) tourne avec l'arbre tandis que le grain fixe (statique) reste stationnaire dans le boîtier.

Un fin film d'eau se forme entre les surfaces de glissement et sert au refroidissement et à la lubrification.

Cette opération peut provoquer divers types de friction en surface : friction mixte, friction de limite ou friction à sec, cette dernière (qui se produit en l'absence de film lubrifiant) provoque une destruction immédiate. La durée de vie dépend des conditions d'utilisation, notamment de la composition et de la température du liquide pompé.

## Presses-étoupes

Les matériaux des presses-étoupes comprennent des fils synthétiques haute qualité tels que le Kevlar® ou le Twaron®, le PTFE, des fils constitués de graphite expansé, des fils de fibre minérale synthétique ainsi que des fibres naturelles telles que du chanvre, du coton ou de la ramie. Le matériau du presse-étoupe est disponible au mètre ou sous forme d'anneaux moulés comprimés, à sec ou avec une imprégnation spéciale en fonction de l'application. Lorsque le matériau est acheté au mètre, on découpe et on forme d'abord un anneau. L'anneau du presse-étoupe est ensuite installé autour de l'axe de la pompe et comprimé à l'aide du chapeau du presse-étoupe.

### Positions d'installation

#### Positions d'installation admises

- Les pompes en ligne sont conçues pour une installation directe à l'horizontale et à la verticale sur la tuyauterie.
- Un espace suffisant doit être prévu pour le démontage du moteur, de la lanterne et de la roue.
- Lorsque la pompe est montée, le tuyau ne doit subir aucune tension et la pompe doit être maintenue par consoles (si existantes).

#### Positions d'installation non autorisées

- Une installation avec le moteur et le boîtier de raccordement vers le bas n'est pas autorisée.
- A partir de certaines puissances de moteur, l'accord du fabricant doit être requis pour montage de l'arbre en position horizontale.

#### Remarques spéciales sur les pompes monobloc

## Pompes centrifuges haute pression

La caractéristique principale de ces pompes consiste en un assemblage de plusieurs composants avec des roues et des chambres étagées.

Le débit de ces pompes dépend de la dimension de la roue. La hauteur de refoulement des pompes centrifuges haute pression est générée par plusieurs roues disposées en série. L'énergie cinétique est convertie en pression, tantôt dans la roue et tantôt dans l'étagé.

Les étages multiples permettent aux pompes centrifuges haute pression d'atteindre des pressions supérieures à celles obtenues avec des pompes centrifuges basse pression à vitesse fixe.

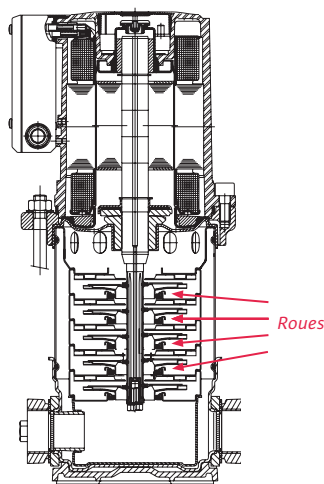
Les tailles les plus importantes comportent 20 étages. Ainsi, elles atteignent des hauteurs de refoulement allant jusqu'à 250 m. Presque toutes les pompes centrifuges haute pression que nous avons décrites appartiennent à la famille des pompes à garniture mécanique. Récemment nous sommes également parvenus à équiper ces pompes de moteurs à rotor noyé.

#### Spécificités des pompes monobloc

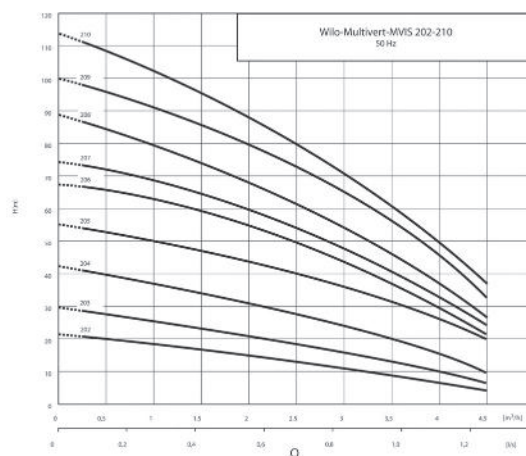
- Les pompes monobloc doivent être installées sur des socles ou des supports adaptés.
- L'installation des pompes monobloc avec moteur et boîtier de raccordement vers le bas n'est pas autorisée. Toutes les autres positions d'installation sont possibles.

Consultez la notice de mise en service et entretien pour obtenir des instructions détaillées sur les positions d'installation.

### Coupe d'une pompe centrifuge haute pression



### Courbe d'une pompe centrifuge haute pression



Exemple d'une pompe centrifuge haute pression avec moteur à rotor noyé







# Courbes

## Courbe de pompe

L'augmentation de pression dans la pompe est appelée la hauteur de refoulement.

### Définition de la hauteur de refoulement

La hauteur de refoulement  $H$  d'une pompe est le travail mécanique utilisable transféré par la pompe au fluide véhiculé, exprimé en terme de force gravitationnelle du fluide pompé sous l'accélération locale de la gravité.

$$H = \frac{E}{G} \text{ [m]}$$

$E$  = Énergie mécanique utilisable [ $N \cdot m$ ]  
 $G$  = Force gravitationnelle [ $N$ ]

Ici, l'augmentation de pression générée dans la pompe et le débit au travers de la pompe dépendent l'un de l'autre. Cette relation est représentée dans un diagramme et représente la courbe de la pompe.

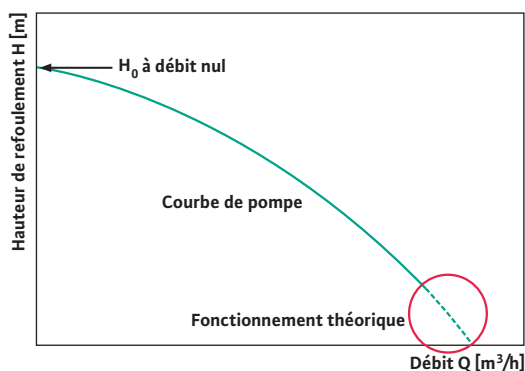
L'axe vertical, les ordonnées, indique la hauteur de refoulement  $H$  de la pompe en mètres [m]. D'autres échelles d'axe peuvent être utilisées. Les valeurs de conversion sont les suivantes :

$$10 \text{ m} = 1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$$

L'axe horizontal, les abscisses, représente l'échelle du débit  $Q$  de la pompe en mètres cube par heure [ $m^3/h$ ]. Une autre échelle d'axe, notamment des litres par seconde (l/s), peut également être utilisée.

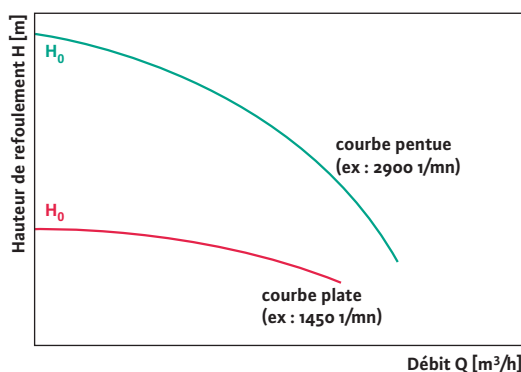
La courbe indique la relation suivante : l'énergie d'entraînement électrique (prenant en compte l'efficacité totale) est convertie dans la pompe en énergie hydraulique qui forme l'augmentation de pression et le mouvement. Si la pompe fonctionne avec un robinet fermé, on obtient la pression maximale de la pompe. On l'appelle hauteur de refoulement lorsque  $Q = 0$ , ou «  $H_0$  », de la pompe. Si le robinet est ouvert lentement, le fluide commence à s'écouler. Cette opération convertit une partie de l'énergie d'entraînement en énergie cinétique. La pression d'origine ne peut plus être maintenue. La courbe de pompe commence à descendre. En théorie, la courbe de pompe croiserait l'axe de débit au point auquel seule de l'énergie cinétique est transmise à l'eau et auquel la pression n'augmente plus. Cependant, comme un réseau de distribution présente toujours une résistance interne, les courbes de pompe réelles se terminent avant d'atteindre l'axe de débit.

### Courbe de pompe



### Forme de la courbe de pompe

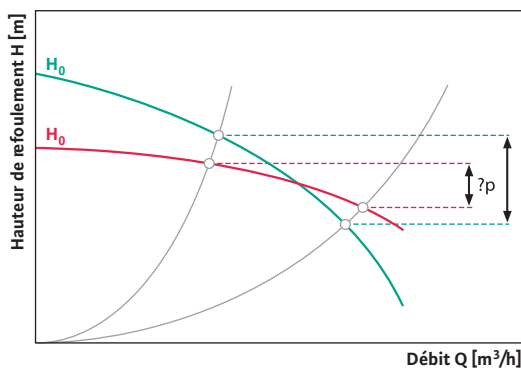
L'illustration suivante représente les différentes pentes des courbes de pompe qui peuvent survenir en fonction de la vitesse du moteur, par exemple.



*Pentes différentes, par exemple en fonction de la vitesse du moteur avec le même corps et la même roue de pompe*

Des pressions et des débits différents modifient les résultats en fonction de la pente et des points de fonctionnement :

- Courbe de pompe plate
  - Forte variation de débit, mais faible variation de pression
- Courbe de pompe pentue
  - Faible variation de débit et forte variation de pression

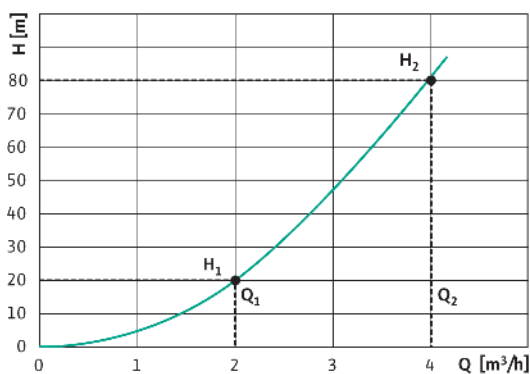


*Différentes modifications du débit et de la pression*

## Courbe réseau

La résistance intérieure des conduites aux frottements provoque une chute de pression dans le fluide pompé qui correspond à la longueur totale. La chute de pression dépend également de la température du fluide s'écoulant, de sa viscosité de la vitesse du flux, des robinets, des unités et de la résistance aux frottements constituée par le diamètre, la rugosité et de la longueur du tuyau. Elle est représentée sous la forme d'une courbe réseau. On utilise le même diagramme que celui de la courbe de pompe.

**Courbe réseau**



La courbe représente la relation suivante :

La résistance aux frottements du tuyau est provoquée par la friction de l'eau sur les parois du tuyau, la friction des gouttelettes d'eau les unes contre les autres et les changements de direction dans les pièces moulées. Lorsqu'il y a un changement de débit, provoqué notamment par l'ouverture ou la fermeture d'un robinet thermostatique de radiateur, la vitesse de l'eau change également et ainsi la résistance aux frottements du tuyau. Comme le diamètre inchangé du tuyau doit être considéré comme une seule zone d'écoulement, la résistance change quadratiquement. Par conséquent, le diagramme aura la forme d'une parabole.

Il en résulte la relation mathématique suivante :

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)^2$$

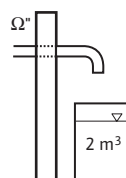
### Conclusion

Si le débit dans le système de tuyau est réduit de moitié, la hauteur de refoulement diminue d'un quart par rapport à son niveau précédent. Si le débit double, la hauteur de refoulement est multipliée par quatre.

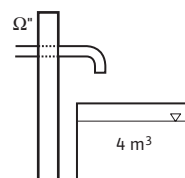
Prenons par exemple l'écoulement d'eau d'un robinet. À une pression d'entrée de 2 bars, ce qui correspond à une hauteur de refoulement de pompe d'environ 20 m, de l'eau s'écoule d'un robinet DN 1/2 à un débit de 2  $\text{m}^3/\text{h}$ . Pour doubler le débit, la pression d'entrée doit passer de 2 à 8 bars.

### Écoulement d'un robinet à différentes pressions d'entrée

Pression amont 2 bar  
Écoulement 2  $\text{m}^3/\text{h}$



Pression amont 8 bar  
Écoulement 4  $\text{m}^3/\text{h}$



## Point de fonctionnement

Le point auquel la courbe de pompe et la courbe réseau se croisent est le point de fonctionnement actuel du réseau de chauffage ou d'alimentation en eau.

Cela signifie qu'à ce point, il y a équilibre entre la génération de puissance de la pompe et la consommation d'énergie requise pour surmonter la résistance dans le système de tuyaux. Cela génère le débit que la pompe peut produire.

Il faut faire attention à ne pas dépasser une valeur de débit minimale. Sinon la pompe pourrait surchauffer et être endommagée. Les spécifications du fabricant doivent être respectées. Un point de fonctionnement situé en dehors de la courbe de pompe endommagera le moteur.

Le point de fonctionnement varie en permanence en raison des fluctuations de débit au cours du fonctionnement. Le Bureau d'études doit trouver un point de fonctionnement qui correspond aux contraintes maximales. Pour les pompes de circulation de chauffage, il s'agit de la charge de chauffage du bâtiment ; pour les systèmes de distribution ou surpression, il s'agit du débit maximum de tous les robinets.

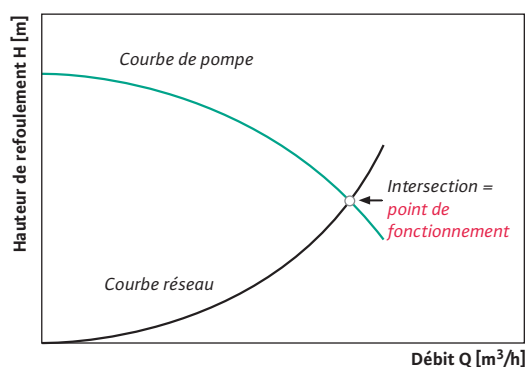
Tous les autres points de fonctionnement apparaissant en fonctionnement réel sont situés à gauche de ce point de fonctionnement prévu sur la courbe.

Les deux illustrations à droite indiquent que le changement de point de fonctionnement provient du changement de résistance du réseau.

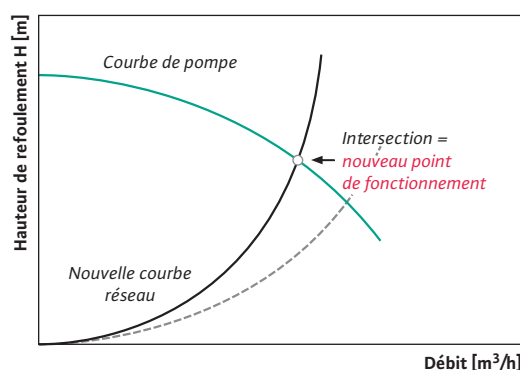
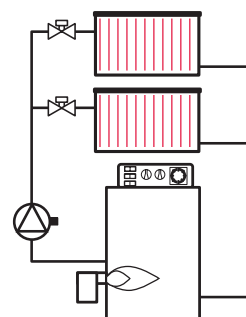
Si le point de fonctionnement se décale vers la gauche du point de sélection, la hauteur de refoulement de la pompe augmentera nécessairement. Cela provoque un bruit d'écoulement dans les robinets.

L'installation de pompes à débit variable adapte la hauteur de refoulement et le débit à la charge requise. Elle réduit également les coûts de fonctionnement de manière importante.

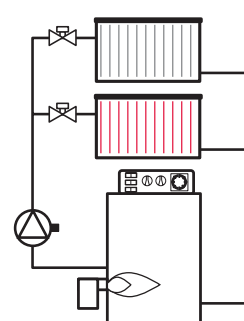
### Point de fonctionnement variable



Deux robinets thermostatiques ouverts



Seulement 1 robinet thermostatique ouvert









# Adaptation de la pompe aux besoins énergétiques

Comme notre climat présente quatre saisons distinctes, il y a des fluctuations substantielles de la température extérieure. Des températures élevées d'été de 20°C à 30°C, les températures peuvent chuter à -15°C ou -20°C , voire moins en hiver. Évidemment, de telles fluctuations ne sont pas acceptables pour les températures intérieures des habitations. Dans les temps anciens, le feu était utilisé pour chauffer les cavernes. Ultérieurement, des systèmes de chauffage ont été mis au point, comme décrit dans la première partie des « Principes des pompes ».

## Fluctuations climatiques

Dans l'illustration de droite, la zone ombrée avec des lignes verticales explique clairement que les fluctuations saisonnières de la température extérieure nécessitent des quantités d'énergie très différentes.

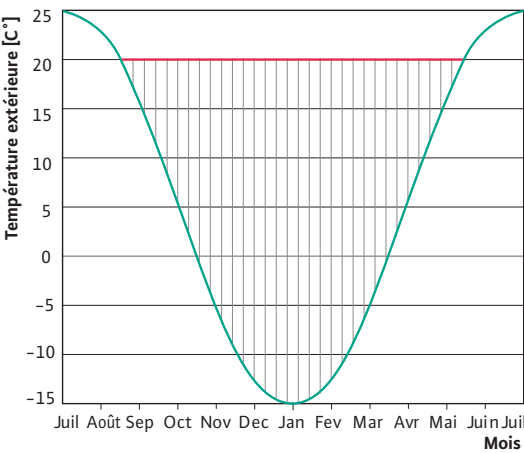
Lorsque les types d'énergie utilisés pour le chauffage (bois, charbon et premiers systèmes de chauffage au pétrole) n'étaient pas très coûteuses, peu importait la consommation en carburant. Au pire, il suffisait d'ouvrir une fenêtre ou deux. C'est ce que l'on appelait sur le ton de la plaisanterie la « régulation 2 points » : la fenêtre est ouverte ou fermée !

La première crise pétrolière de 1973 est à l'origine de la prise de conscience pour l'économie d'énergie.

Une bonne isolation thermique des bâtiments est devenue depuis une évidence. Les contraintes légales ont évolué en permanence pour suivre les développements dans la technique de construction. Évidemment, les techniques de chauffage ont évolué à un rythme identique. Les robinets thermostatiques de radiateur qui ajustent la température de la pièce à un niveau confortable ont été les premiers à être largement utilisés.

La restriction de la quantité d'eau chaude provoquée par ces robinets a augmenté la pression des

Température extérieure au cours d'une année



La zone grisée doit être remplie par de l'énergie thermique.

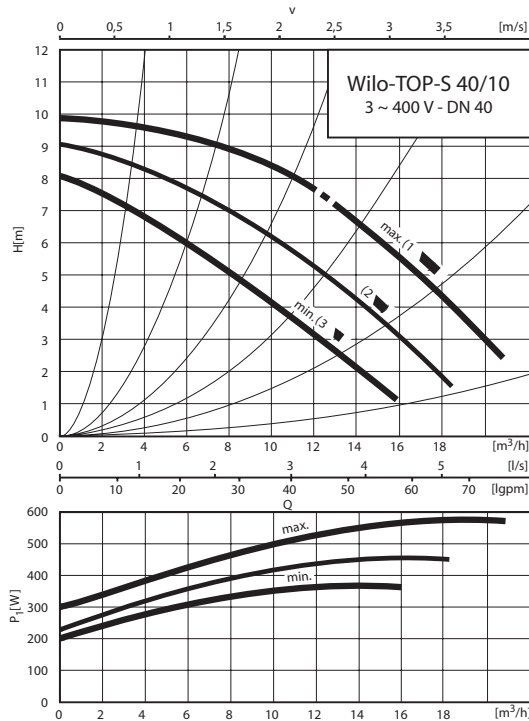
pompes à vitesse fixe (et la courbe de pompe), provoquant ainsi des bruits d'écoulement dans les robinets. Pour résoudre ce problème, le clapet de décharge a été inventé et installé comme moyen d'évacuer la pression en excès.

Consultez le chapitre sur le « Point de fonctionnement », page 33

## Sélection de la vitesse de la pompe

Les fabricants de pompes proposent des circulateurs à rotor noyé avec une sélection de vitesse manuelle. Comme décrit dans les sections précédentes, le débit diminue avec la vitesse afin d'adapter la quantité de fluide aux organes de commande (thermostat et vannes). Cela permet à la pompe de circulation de réagir directement à la régulation de température de la pièce.

**Courbe de pompe Wilo-TOP-S**



*Circulateur à rotor noyé  
Wilo-TOP-S à 3 vitesses au  
choix*

Afin que la vitesse des moteurs puisse être modifiée, ils sont construits à l'aide de différents enroulements internes. Si une quantité moindre d'eau circule dans les tubes de chauffage, il y a par conséquent moins de pertes de charge, ce qui permet à la pompe de fonctionner avec une hauteur de refoulement moindre. En même temps, la consommation en énergie du moteur est sensiblement réduite.

Jusqu'à présent, un grand nombre de types de régulation a été mis au point pour modifier la vitesse des pompes de circulation. Ainsi, la pompe de circulation peut réagir immédiatement suivant la régulation de température de la pièce. La vanne de décharge devient alors inutile. Les organes de régulation modifient la vitesse automatiquement en fonction des variables suivantes :

- Heure
- Température de l'eau
- Pression différentielle
- Autres variables spécifiques au système

## Régulation de vitesse variable en continu

La régulation de vitesse en continu des pompes à moteur ventilé pour des moteurs de forte puissance pour les applications de chauffage a été possible dès le début des années 80. Des convertisseurs de fréquence électronique étaient utilisés pour ces pompes.

Pour comprendre cette technologie, rappelons que la fréquence de courant habituelle est de 50 Hz (Hertz). Cela signifie que le courant alterne entre un pôle positif et négatif 50 fois par seconde. Le rotor du moteur de pompe est mû à la vitesse correspondante.

Des composants électroniques peuvent être utilisés pour **accélérer** ou **ralentir** le courant et ainsi régler en permanence la fréquence, par exemple entre 100 Hz et 0 Hz.

Cependant, pour des raisons relatives au moteur, la fréquence dans les systèmes de chauffage n'est pas réduite à moins de 20 Hz ou moins de 40 % de la vitesse maximale. Comme le rendement thermique maximal est conçu uniquement pour les jours les plus froids, il sera rarement nécessaire de faire fonctionner le moteur à la fréquence maximale.

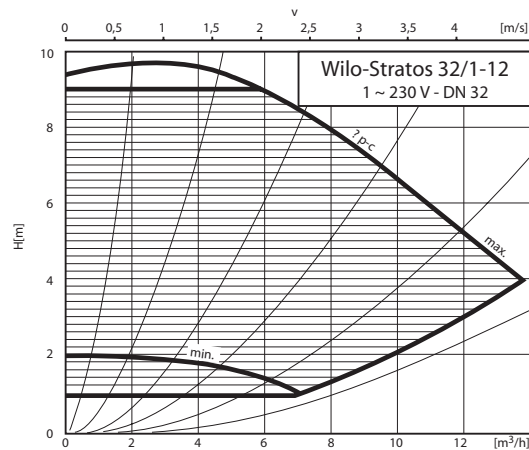


Alors que des unités de transformateur importantes étaient encore nécessaires il y vingt ans, la solution a été trouvée depuis pour rendre les convertisseurs de fréquence suffisamment petits pour fonctionner dans des boîtiers de raccordement fixés directement sur la pompe, comme dans le cas de la Wilo-Stratos.

Une régulation de vitesse intégrée qui varie en continu permet de maintenir constante la hauteur de refoulement choisie, quel que soit le débit requis en fonction des conditions extérieures ou d'autres facteurs.

Depuis 2001, une nouvelle avancée technologique a eu lieu dans la technologie des circulateurs à rotor noyé. La toute dernière génération de ces pompes, également appelée pompe haute performance, peut associer d'énormes économies énergétiques à une efficacité excellente à l'aide de la technologie de pointe ECM (Moteur Commuté Électroniquement ou moteur à aimant permanent).

Courbe de pompe d'une Wilo-Stratos



La commande de vitesse variable à l'infini a été introduite sur les petits circulateurs à partir de 1988, mais utilisait une technologie électronique différente. La technologie utilisée à l'époque, contrôle de l'angle de phase, est comparable aux commandes à rhéostat utilisées pour l'éclairage.



Commande de vitesse variable en continu de la pompe haute performance Wilo-Stratos

Consultez le chapitre sur les « circulateurs à rotor noyé », page 25

## Modes de commande

Les pompes commandées électroniquement sur le marché actuellement peuvent être équipées de systèmes électroniques qui permettent divers modes de fonctionnement et de commande.

Il existe ainsi des modes de commande que la pompe peut effectuer seule et des modes de fonctionnement dans lesquels la pompe, au lieu de se réguler, est réglée à des points de fonctionnement précis à l'aide de commandes.

Vous trouverez ci-après un aperçu des modes de commande et de fonctionnement les plus courants. D'autres unités et systèmes de régulation peuvent être utilisés pour traiter et transmettre un large éventail de données.

## Courbes de pompe pour différents modes de commande

### Les modes de commande pouvant être choisis sont les suivants :

#### $\Delta p$ -c – Pression différentielle constante

Le système électronique maintient constante la pression différentielle générée par la pompe sur la plage de débit autorisée à la valeur de consigne de pression différentielle  $H_S$  jusqu'au maximum de la courbe de pompe.

#### $\Delta p$ -v – Pression différentielle variable

Le système électronique modifie la valeur de consigne de la pression différentielle à maintenir par la pompe, par exemple de manière linéaire entre  $H_S$  et  $1/2 H_S$ . La valeur de consigne de la pression différentielle  $H$  augmente ou diminue avec le débit  $Q$ .

#### $\Delta p$ -cv – Pression différentielle constante/variable

Dans ce mode de commande, le système électronique maintient constante la pression différentielle générée par la pompe à la pression différentielle définie jusqu'à un certain débit ( $H_S$  100 %). Si le débit est inférieur à ce point, le système électronique modifie la pression différentielle à maintenir par la pompe de manière linéaire, par exemple entre  $H_S$  100 % et  $H_S$  75 %.

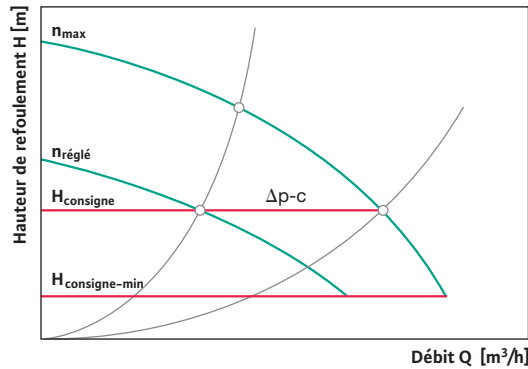
#### $\Delta p$ -T – Commande de pression différentielle en fonction de la température

Dans ce mode de commande, le système électronique modifie la pression différentielle à maintenir par la pompe en fonction de la température du fluide mesurée.

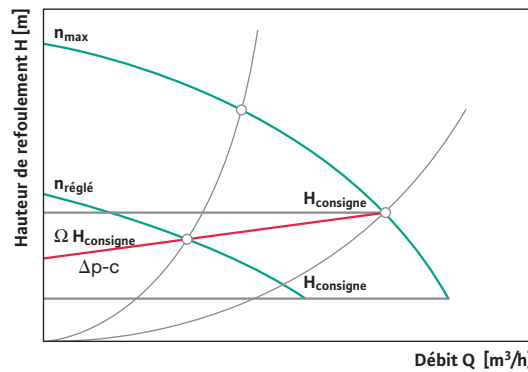
Deux réglages sont possibles pour cette fonction de commande :

- Régulation avec pente ascendante  
Lorsque la température du fluide augmente, la valeur de consigne de la pression différentielle est augmentée de manière linéaire entre  $H_{\min}$  et  $H_{\max}$ . Cette opération est utilisée, par exemple, dans les chaudières classiques avec température de départ constante.
- Régulation avec pente descendante  
Lorsque la température du fluide diminue, la valeur de consigne de la pression différentielle est diminuée de manière linéaire entre  $H_{\max}$  et  $H_{\min}$ . Cette opération est utilisée, par exemple, pour la condensation des chaudières dans lesquelles une température de retour minimale précise doit être maintenue afin d'atteindre le degré le plus haut possible d'utilisation du fluide de chauffage. Pour ce faire, il est obligatoire d'installer la pompe sur le retour du circuit.

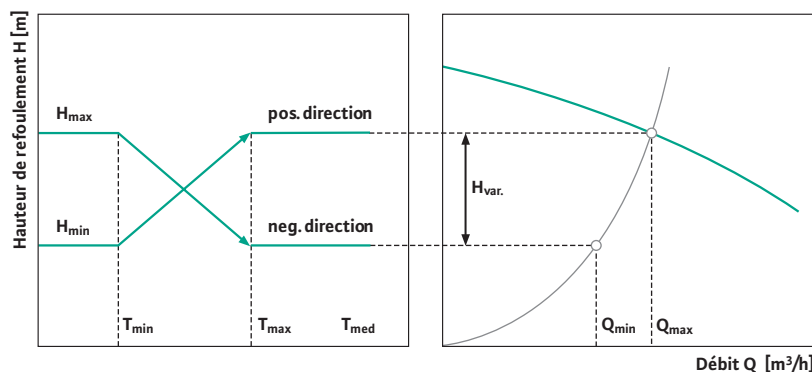
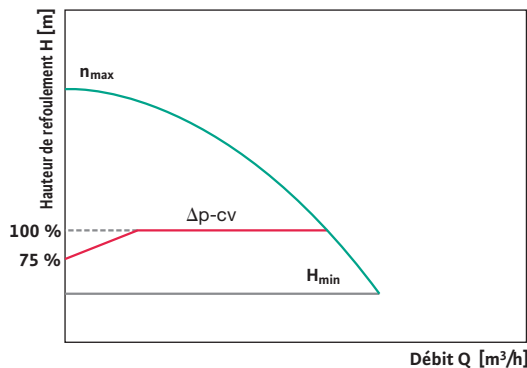
Pression différentielle constante :  $\Delta p$ -c



Pression différentielle variable :  $\Delta p$ -v



Pression différentielle constante/variable :  $\Delta p$ -cv



Régulation de pression différentielle en fonction de la température :  
 $\Delta p$ -T, en fonction des changements résultants de débit

### Les modes de fonctionnement à choisir sont :

#### Réduit automatique (autopilot)

Les circulateurs à rotor noyé commandés électroniquement présentent une fonction de réduit automatique (autopilot). Lorsque la température de départ est réduite, la pompe fonctionne à une vitesse constante réduite avec système Fuzzy (fonctionnement à faible charge). Ce réglage garantit que la consommation d'énergie de la pompe est réduite à un minimum et est le meilleur réglage dans la plupart des cas.

Le mode réduit autopilot peut uniquement être activé si le système a été équilibré hydrauliquement. Le non respect de ces instructions peut provoquer le gel des parties sous-alimentées du système en cas de gel.

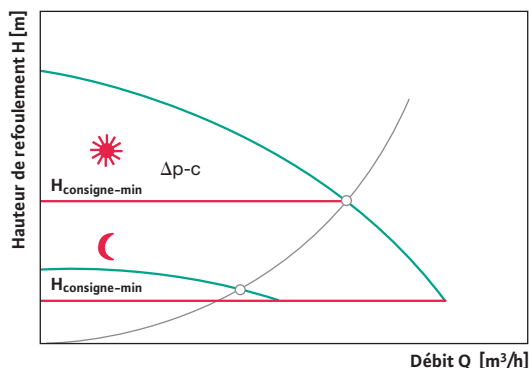
#### Mode manuel

Ce mode de fonctionnement est disponible pour les pompes commandées électroniquement qui respectent ou dépassent une certaine puissance moteur. La vitesse de la pompe est définie à une valeur constante entre  $n_{\min}$  et  $n_{\max}$  sur le module électronique de la pompe. Le mode de fonctionnement manuel désactive la commande de pression différentielle sur le module.

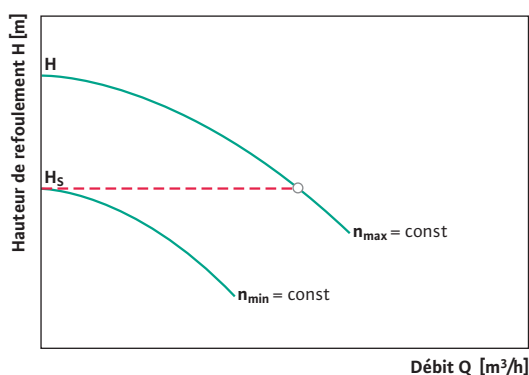
DDC (Direct Digital Controls) et connexion BA (connexion au système d'automatisation du bâtiment)

Dans ces modes de fonctionnement, la valeur de consigne est transmise au système électronique de la pompe par l'intermédiaire du système de gestion du bâtiment correspondant. La valeur de consigne provient du système d'automatisation du bâtiment (BA) à l'aide d'une comparaison de la valeur de consigne/actuelle et peut être transférée sous la forme d'un signal analogique 0-10 V/0-20mA ou 2-10 V/4-20mA, ou d'un signal numérique (interface PLR ou LON sur la pompe).

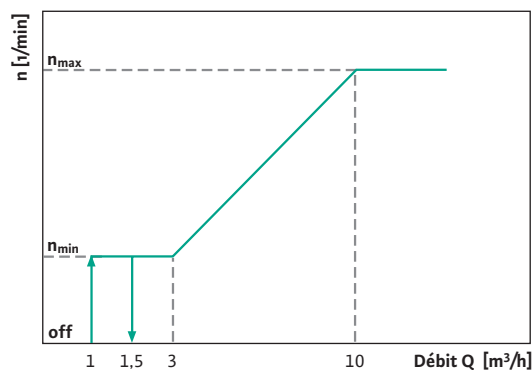
### Courbes de pompe pour différents modes de fonctionnement



Mode réduit automatique (autopilot)



Mode de fonctionnement manuel



Mode de fonctionnement DDC – unité de commande analogique







# Détermination de pompe pour installations de chauffage standard

Le débit à fournir par une pompe de chauffage dépend des déperditions thermiques du bâtiment à chauffer. La hauteur de refoulement, d'autre part, est déterminée par la résistance aux frottements de la tuyauterie. Lorsqu'un système de chauffage est installé, ces variables peuvent être facilement calculées à l'aide de programmes informatiques de qualité disponibles de nos jours. Cependant, ce calcul est plus complexe lorsque des systèmes de chauffage existants sont rénovés. Diverses approximations peuvent être utilisées pour calculer la capacité des pompes nécessaires.

## Débit de la pompe

Lors de l'installation d'une nouvelle pompe dans un système de chauffage, sa taille est déterminée en fonction du volume à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{PU} = \frac{Q_N}{1,163 \cdot \Delta\vartheta} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$Q_{PU}$  = Débit de la pompe au point de sélection en  $[\text{m}^3/\text{h}]$

$Q_N$  = Consommation énergétique de la zone à chauffer en  $[\text{kW}]$

1,163 = Capacité thermique spécifique en  $[\text{Wh}/\text{kgK}]$

$\Delta\vartheta$  = Différence de température entre le départ et le retour du système de chauffage en  $[\text{K}]$  ; ici, 10 – 20 K peuvent être estimés pour les systèmes standard.

## Hauteur de refoulement de la pompe

Pour véhiculer des fluides dans tous les points du circuit de chauffage, la pompe doit vaincre la somme de toutes les résistances. Comme il est très difficile de déterminer le chemin de tuyauterie et les diamètres nominaux des tuyaux utilisés, la formule suivante peut être utilisée pour calculer de manière approximative la hauteur de refoulement :

$$H_{PU} = \frac{R \cdot L \cdot ZF}{10.000} \quad [\text{m}]$$

$R$  = Perte de charge des tuyauteries en ligne  $[\text{Pa}/\text{m}]$

Ici, 50 Pa/m à 150 Pa/m peuvent être estimés pour les systèmes standard (en fonction de l'année de construction du bâtiment ; des bâtiments plus anciens présentent une perte de charge plus faible de 50 Pa/m en raison de l'utilisation de tuyaux avec des diamètres nominaux plus importants).

$L$  = Longueur de la section de chauffage la plus défavorisée (la plus longue)  $[\text{m}]$  pour l'alimentation et le retour ou : (longueur de la maison + largeur de la maison + hauteur de la maison) x 2

$ZF$  = facteurs majorateurs

coudes/robinets  $\approx 1,3$

Robinet thermostatique  $\approx 1,7$

Si ces pièces installées, entre autres, sont présentes, un  $ZF$  de **2.2** peut être utilisé.

Coudes/robinets  $\approx 1,3$

Robinet thermostatique  $\approx 1,7$

Vanne de mélange  $\approx 1,2$

Si ces pièces installées, entre autres, sont présentes, un  $ZF$  de **2.6** peut être utilisé.

10 000 = Facteur de conversion en Pa

Exemple d'application

La chaudière d'un immeuble de construction ancienne a une puissance de 50 kW selon un calcul ou un document.

Pour une différence de température Δθ de 20 K (θ<sub>alimentation</sub> = 90°C / θ<sub>retour</sub> = 70°C), cela a pour résultat l'équation suivante :

$$Q_{PU} = \frac{50 \text{ kW}}{1,163 \cdot 20 \text{ K}} = 2,15 \text{ m}^3/\text{h}$$

Si le même bâtiment doit être chauffé avec un différentiel de température inférieur, par exemple 10 K, la pompe de circulation doit fournir le double du débit, c'est-à-dire 4,3 m³/h, pour transporter l'énergie thermique nécessaire du générateur de chaleur aux corps de chauffe.

Dans notre exemple, supposons une perte de charge due aux frottements de 50 Pa/m, une longueur de tuyau d'alimentation et de retour de 150 m et un facteur majorateur de 2,2, car aucun robinet de mélange n'a été installé dans ce cas. Cela a pour résultat la hauteur de refoulement H suivante :

$$H_{PU} = \frac{50 \cdot 150 \cdot 2,2}{10.000} = 1,65 \text{ m}$$



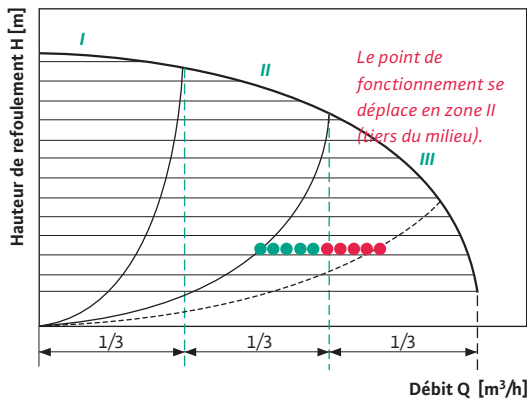
Dans le chapitre relatif aux « Caractéristiques de construction », nous avons vu comment la courbe de rendement dépend de la courbe de pompe. Si cette courbe de rendement est prise en compte lors du choix de la pompe, il est évident qu'en terme d'énergie, le tiers du milieu de la courbe est la plage de sélection la plus favorable. Par conséquent, pour les systèmes à débit variable, le point de sélection doit se trouver dans le premier tiers de droite, car le point de fonctionnement de la pompe de circulation de chauffage se décale au tiers central et reste à cet endroit pendant 98 % de son temps de fonctionnement.

La courbe réseau devient plus forte, car la résistance augmente, par exemple lorsque les robinets thermostatiques des radiateurs sont fermés.

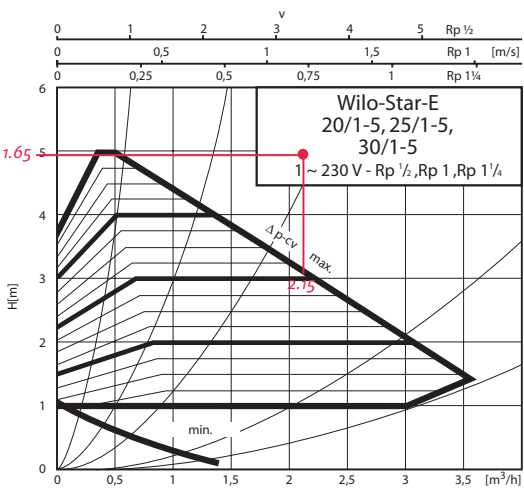
On obtient les résultats suivants à partir des données calculées pour une hauteur de refoulement H et un débit Q selon le catalogue pour une détermination de pompes :

Point de fonctionnement dans la courbe de pompe à débit variable

- Zone I (1er tiers gauche)  
Choisissez une pompe plus petite si le point de fonctionnement se trouve dans cette zone.
- Zone II (tiers du milieu)  
La pompe fonctionnera dans sa plage optimale pour 98 % de son temps de fonctionnement.
- Zone III (tiers de droite)  
La pompe commandée sera actionnée dans la dernière plage favorable uniquement lorsqu'elle se trouve sur son point de sélection (jour le plus chaud/froid de l'année), par ex., 2 % de son temps de fonctionnement.



Courbes de pompe Wilo-EasyStar





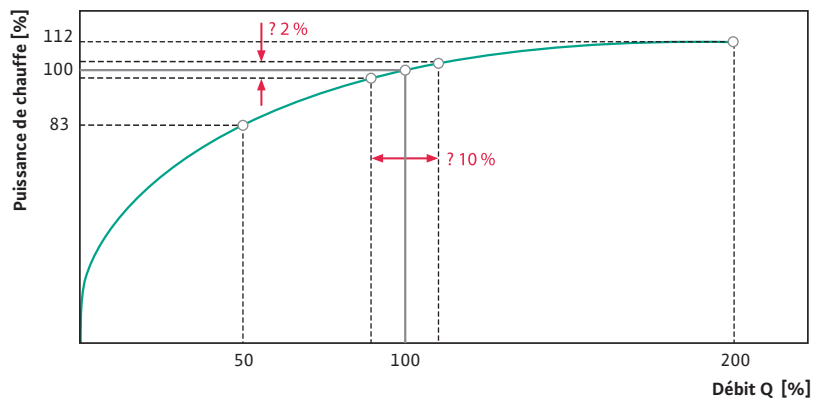
## Influence sur la détermination des pompes

Lorsque la déperdition thermique d'un bâtiment avec un réseau de chauffage inconnu doit faire l'objet d'une approximation, on peut se demander l'impact que cela aura. L'illustration représente la courbe de rendement classique d'un radiateur d'habitation.

On peut constater la relation suivante : si le débit  $Q$  diminue de 10 %, la puissance de chauffe des radiateurs diminue uniquement de 2 %. Il en va de même si le débit  $Q$  augmente d'environ 10 %. Dans ce cas, les radiateurs seront en mesure de générer uniquement 2 % d'énergie thermique supplémentaire. Même le doublement du débit n'augmentera la puissance de chauffe que de 12 % !

La vitesse de l'eau dans les radiateurs dépend directement du débit. Une vitesse de circulation plus rapide signifie un temps de pause plus court de l'eau dans les radiateurs. À un débit plus lent, le fluide dispose de plus de temps pour transmettre la chaleur à la pièce.

Diagramme de fonctionnement d'un radiateur



Par conséquent, la pratique qui consiste à dimensionner les pompes plus grandes que nécessaire afin de permettre ce que l'on appelle une « marge de sécurité » est totalement fautive.

Exemple de schéma de fonctionnement d'un radiateur à 90/70°C, température ambiante de 20°C

Un sous-dimensionnement des pompes en chauffage a des conséquences mineures : à un débit de 50 %, les radiateurs seront en mesure d'assurer environ 83 % d'énergie thermique à la pièce.

## Logiciel de sélection de pompes

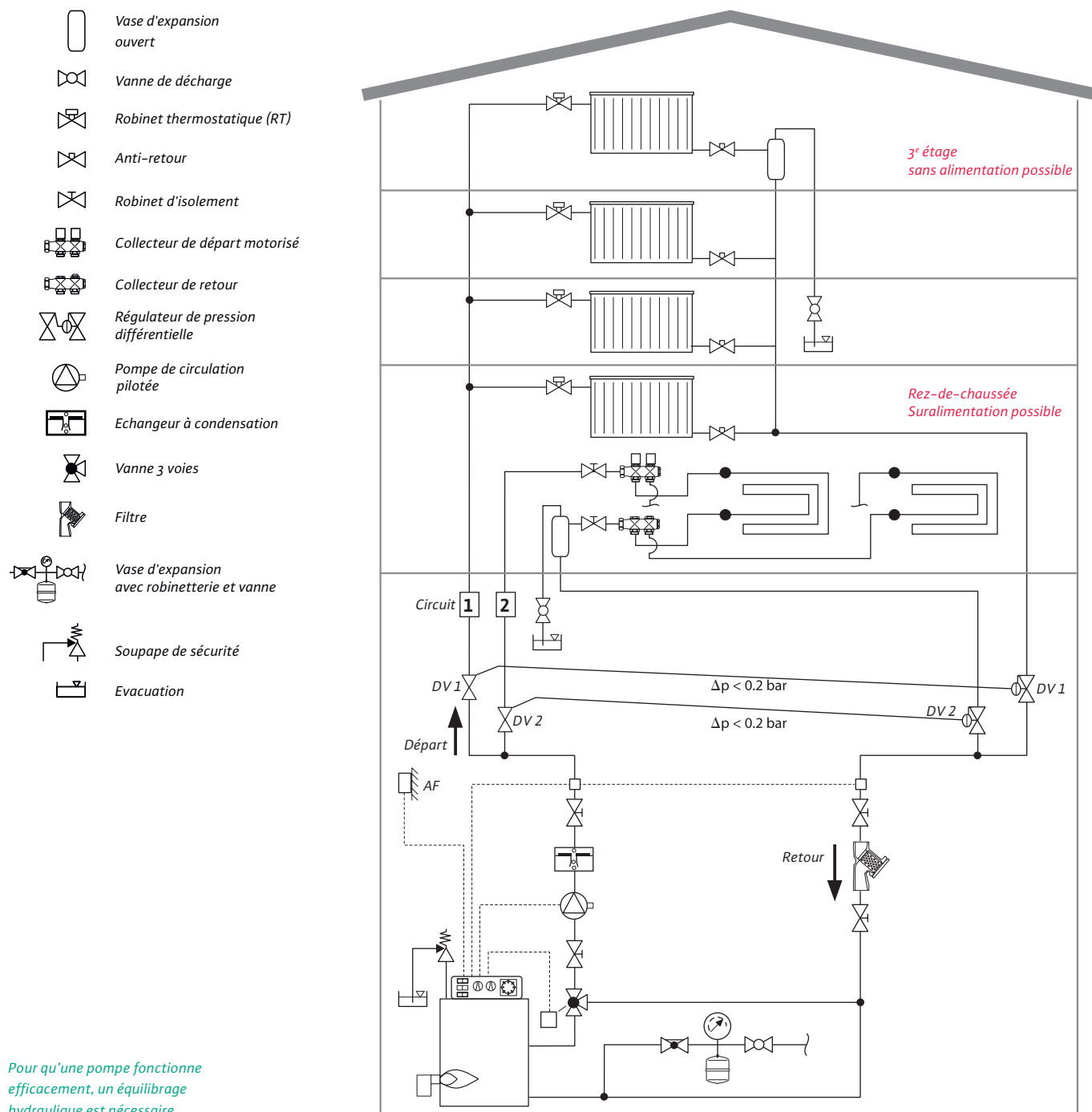
Le logiciel de sélection de pompe tel que Wilo-Select fournit un service de sélection complet et efficace. Pour les tâches allant du calcul à la sélection de la pompe et de la documentation associée, il fournit toutes les données dont vous avez besoin.

Wilo-Select Classic est un logiciel de détermination de pompes, systèmes et composants. Il peut être utilisé comme une aide au travail professionnel, divisée selon les menus suivants :

- Calcul
- Conception
- Recherche dans le catalogue et recherche d'articles
- Remplacement de pompe
- Documentation
- Coût en électricité et calculs d'amortissement
- Coûts d'entretien
- Exportation de données vers Acrobat PDF, DXF, GAEB, Datanorm, VDMA, VDI, CEF
- Mise à jour automatique sur Internet



### Représentation schématique d'une installation de chauffage équilibrable hydrauliquement



## L'hydraulique de A à Z

Pour obtenir une circulation optimale de la chaleur et le moins de bruit possible, un équilibrage hydraulique est nécessaire.

L'équilibrage hydraulique sert également à empêcher que l'alimentation des corps de chauffe ne devienne trop élevée ou trop faible.

Le débit nominal des sections est fourni par la pompe dans le circuit hydraulique. Les corps de chauffe (les radiateurs, par exemple) utilisent uniquement une partie de ce débit, laquelle dépend de la taille et de la puissance du radiateur ainsi que du réglage du thermostat et de la vanne de régulation.

Afin que chaque corps de chauffe soit alimenté à la pression et au débit correct, des régulateurs de pression différentielle, vannes de réglage, thermostat préréglé et vannes de régulation peuvent être installés.

Les paramètres du corps de chauffe peuvent être réglés sur les vannes et les contrôleurs en fonction des spécifications du fabricant (pression différentielle de sélection comprise entre 40 et 140 mbars). Les corps de chauffe doivent toujours être protégés contre un excès de pression. La pression maximale de la pompe, par exemple en amont des robinets thermostatiques de radiateur, ne doit pas dépasser 2 m. Si le circuit nécessite une pression supérieure, des contrôleurs de pression différentielle doivent être installés dans les sections montantes afin que cette valeur limite soit maintenue.

*Consultez le chapitre de l'« Exemple d'application », page 42*

## Réglage des pompes de circulation commandées électroniquement

Les pompes de circulation actuelles à variation de vitesse électronique sont une manière simple d'ajuster la hauteur de refoulement nécessaire à un circuit méconnu :

- La condition préalable est que le circuit ait été soigneusement équilibré et que le système ait été purgé. Toutes les vannes de réglage doivent être ouvertes.
- Le système électronique de la pompe comporte des boutons ou des cadrans pour régler la hauteur de refoulement. En fonction du fabricant, elles peuvent présenter ou non des graduations. Commencez au niveau le plus bas de hauteur de refoulement. Envoyez un collègue, équipé d'un téléphone portable ou d'une radio, au radiateur le plus distant de tout le système de chauffage.

- Lorsqu'il aura signalé que l'eau de chauffage ne parvient pas jusqu'à ce point éloigné, augmentez lentement la hauteur de refoulement à l'aide du cadran de réglage. En effectuant cette opération, tenez compte de l'inertie du système de chauffage.
- Au moment où même le radiateur le plus éloigné est alimenté en énergie thermique, la procédure de réglage est terminée.



## Fonctionnement de plusieurs pompes

Chacune des exécutions précédentes était basée sur une pompe centrifuge. En pratique, cependant, il existe des conditions d'utilisation dans lesquelles une pompe simple ne peut répondre à la demande.

Dans ce cas, deux pompes ou plus sont installées. En fonction de l'application, les pompes sont raccordées en série ou en parallèle.

Avant d'aborder les fonctions d'utilisation spécifiques, signalons une erreur fondamentale (bien que connue). Il n'est généralement pas vrai que deux pompes identiques connectées en série pompent à un rythme de deux fois la hauteur de refoulement et que deux pompes identiques connectées en parallèle pompent à un rythme de deux fois le débit.

Bien que cela soit possible en théorie, il est impossible de le réaliser en pratique pour des raisons concernant la conception et le circuit.

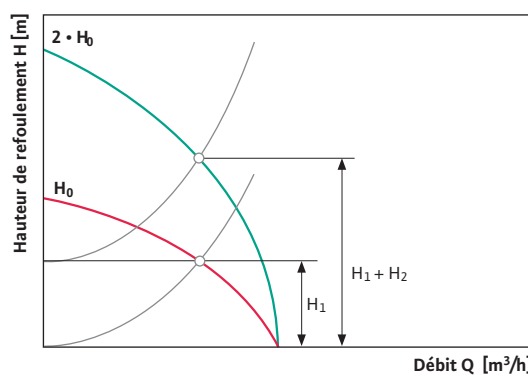
### Pompes raccordées en série

Si deux pompes sont connectées l'une derrière l'autre, les courbes de pompe s'ajoutent, c'est-à-dire que, si elles fonctionnent à vanne fermée, la pression générée est cumulative. Ainsi, la hauteur de refoulement si  $Q = 0$  est doublée pour deux pompes de même dimension.



Connexion en série de deux pompes installées dans un corps avec le même débit : les hauteurs de refoulement sont ajoutées à des points de débit identique

Courbe de pompe pour fonctionnement en série



À l'inverse, deux pompes ne peuvent pas transporter une quantité plus importante de fluide qu'une seule pompe.

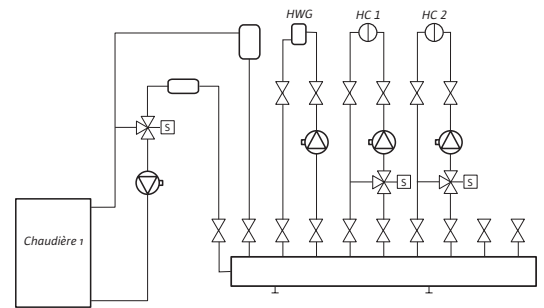
Cela signifie en pratique que, pour les deux parties du travail hydraulique, il survient des augmentations proportionnées :

- Pour l'axe vertical de la courbe, c'est-à-dire la hauteur de refoulement  $H$ , cette augmentation sera d'autant plus importante que la courbe système est à gauche.
- Pour l'axe horizontal, c'est-à-dire le débit  $Q$ , l'augmentation est extrêmement faible.

### Exemple d'application : circuits à plusieurs pompes (pompes connectées en série)

Pour des raisons de technologie de régulation, les systèmes de chauffage de forte importance sont composés de plusieurs circuits de chauffage. Parfois, plusieurs chaudières sont également installées.

#### Exemple d'un système avec plusieurs circuits de chauffage



Les pompes de génération d'eau chaude (WWB) et celles des circuits de chauffage HK 1 et HK 2 fonctionnent indépendamment les unes des autres. Les pompes de circulation sont conçues pour vaincre les résistances correspondantes du système. Chacune de ces trois pompes est installée en série avec la pompe de circulation de la chaudière PCC. La tâche de cette pompe est de vaincre la perte de charge du circuit de chaudière.

Les considérations théoriques de la section précédente supposent des pompes de même taille. Cependant, les données de puissance peuvent différer pour chacune des pompes, comme dans le schéma représenté ici.

Par conséquent, ce type d'installation présente un grand danger si les débits ne sont pas soigneusement adaptés les uns aux autres. Si la pression générée par la pompe du circuit de la chaudière est trop élevée, une ou la totalité des pompes de distribution peut recevoir une pression d'entrée résiduelle excessive à la bride d'aspiration. C'est-à-dire qu'elles ne fonctionnent plus comme des pompes, mais comme des turbines (fonction de générateur). Elles sont poussées. Cela aboutit rapidement à des dysfonctionnements et à des pannes des pompes. La solution de découplage hydraulique ne fait pas l'objet de ce document.

### Pompes raccordées en parallèle

Si deux pompes sont installées en parallèle, les courbes de pompe sont ajoutées l'une à l'autre, ce qui signifie que, lorsqu'elles fonctionnent sans pression, c'est-à-dire vers un tuyau ouvert, le débit est cumulatif. Ainsi, le débit maximum de deux pompes de même taille double.

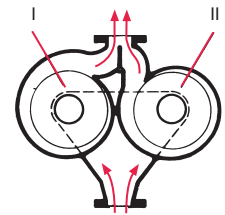
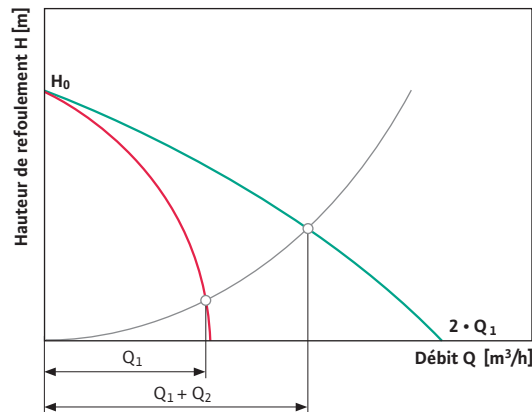
Nous avons déjà signalé que le point de courbe de cette pompe est uniquement une valeur limite théorique.

À l'inverse, c'est-à-dire la hauteur de refoulement si  $Q = 0$ , deux pompes connectées en parallèle ne peuvent pas fournir une hauteur de refoulement supérieure à celle d'une seule pompe.

Cela signifie en pratique une augmentation proportionnelle pour les deux parties du travail hydraulique :

- Pour l'axe horizontal de la courbe, c'est-à-dire pour le débit  $Q$ , cette augmentation sera d'autant plus grande que la courbe système se trouve à droite.
- Pour l'axe vertical, c'est-à-dire la hauteur de refoulement  $H$ , l'augmentation est la plus élevée au centre des courbes de pompe.

### Courbe de connexion en parallèle



Deux pompes en fonctionnement

Fonctionnement en parallèle de deux pompes à débit identique

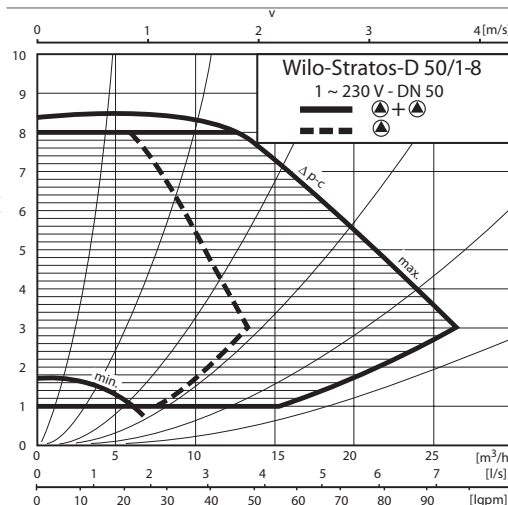
Exemple d'application : fonctionnement en parallèle

Lorsque la demande thermique atteint son point le plus élevé, les pompes I et II fonctionnent ensemble en parallèle. Dans les pompes modernes, les unités de commande nécessaires sont contenues dans des modules insérables ou dans un module électronique pourvu des accessoires correspondants.

Comme chacune des deux pompes simples intégrées dans le corps de pompe double peut, à son tour, être réglée graduellement, il existe de nombreuses possibilités d'adaptation de la pompe à la demande thermique.

Cela est représenté dans la courbe suivante. La ligne en pointillés est la courbe de pompe pour le fonctionnement individuel d'une ou des deux pompes. La ligne noire épaisse est la courbe de pompe partagée en opération de fonctionnement/appoint.

### Courbe de pompe Wilo-Stratos D



Fonctionnement en parallèle de deux pompes avec le même débit : augmentation réelle du débit

Consultez le chapitre sur l'« Influence sur la détermination des pompes », page 43

Si une pompe est défaillante, plus de 50 % du débit est toujours fourni. Selon le schéma de fonctionnement du radiateur, cela signifie qu'une génération de chaleur de plus de 83 % peut être émise par le radiateur.

Exemple d'application : pompe principale et pompe de secours

L'objectif du système de chauffage est de chauffer des habitations durant la saison froide. Par conséquent, l'installation d'une pompe secondaire dans chaque circuit de chauffage est recommandée au cas où l'autre pompe serait en panne. Cela s'applique, par exemple, pour les immeubles, les hôpitaux et les collectivités.

Par contre, l'installation d'une seconde pompe et des organes de commande et régulation nécessaires a pour conséquence des coûts d'installation bien plus importants. L'industrie propose un bon compromis en la forme de pompes jumelées. Deux blocs-moteurs sont montés dans un même corps de pompe.

En fonctionnement marche/secours, les pompes I et II fonctionnent en alternance selon un horaire (par exemple, 24 heures chacune). Lorsqu'une pompe fonctionne, l'autre est arrêtée. Le clapet anti-retour, intégré en standard, empêche le fluide de retourner dans la pompe lorsqu'elle est à l'arrêt.

Comme décrit au début de cette section, la panne de l'une des pompes déclenche un passage automatique sur la pompe prête à fonctionner.

## Fonctionnement à charge maximale avec plusieurs pompes

Plusieurs pompes individuelles à charge partielle sont installées dans des systèmes qui nécessitent un débit important. Par exemple, un hôpital avec 20 bâtiments et un local chaudière situé de manière centrale.

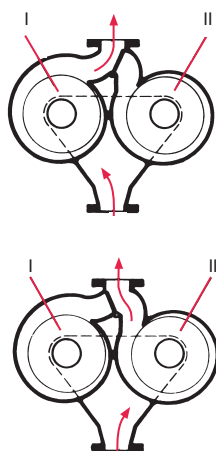
Dans l'exemple suivant, des grosses pompes à garniture mécanique pourvues de variateurs électroniques intégrés sont installées en parallèle les unes avec les autres. En fonction des besoins, de tels systèmes sont composés de deux pompes ou plus, de dimensions identiques.

Relié au capteur de signal, le système de régulation maintient constante la pression totale des pompes ( $\Delta p - c$ ).

À cet égard, les débits admis dans les robinets thermostatiques sur tous les radiateurs et le nombre de pompes en fonctionnement sur les quatre sont sans importance.

Si un système de ce type est équilibré hydrauliquement, ces circuits sont également utilisés pour effectuer une évaluation du point le plus éloigné qui garantit une alimentation correcte. Pour cette évaluation, le capteur de signal est installé sur le point du système le plus difficile à alimenter (le plus défavorisé).

Le signal de commande émanant du capteur est ensuite envoyé à l'unité de commande où il est ajusté en fonction de l'inertie et d'autres caractéristiques du système. Les pompes raccordées sont, à leur tour, activées par l'unité de régulation, par exemple par l'intermédiaire de leur variateur électronique intégré.



Pompe I ou pompe II en fonctionnement

# Système de plusieurs pompes avec régulation en continu

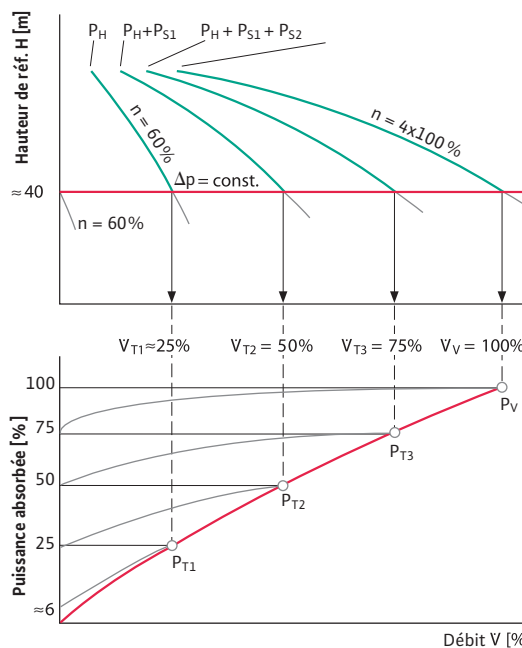
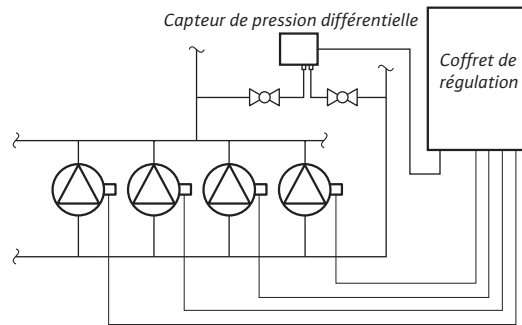
Le système présenté dans cet exemple fonctionne de la manière suivante :

La pompe de base ou pompe principale  $P_H$  avec variateur électronique intégré varie en permanence entre sa vitesse maximale de  $n = 100\%$  et une vitesse minimale de  $n = 40\%$ , suivant la valeur transmise par le capteur de pression différentielle DDG. Ceci couvre la charge partielle nécessaire jusqu'à  $V_{T1} \leq 25\%$ . Lorsque la charge augmente ( $V_T > 25\%$ ), la première pompe d'appoint  $P_{S1}$  équipée de son électronique démarre à vitesse maxi. La pompe de base  $P_H$  continue à réguler, de façon à pouvoir couvrir le complément de charge requis entre  $25\%$  et  $50\%$  des besoins.

Cette procédure se répète lorsque les pompes d'appoint pourvues de variateurs électroniques intégrés  $P_{S2}$  et  $P_{S3}$  s'enclenchent chacune à pleine vitesse. La demande thermique maximale de tout l'hôpital est couverte lorsque les quatre pompes fonctionnent à leur plus forte puissance, car elles fournissent le débit de charge maximale  $V_V$ . De même, les pompes d'appoint avec variateur électronique intégré,  $P_{S3}$  à  $P_{S1}$ , sont arrêtées lorsque la charge thermique diminue.

Pour maintenir les durée de fonctionnement des pompes aussi uniformes que possible, le rôle de la pompe principale est transférée à une pompe différente à tour de rôle.

Le schéma du bas indique les économies importantes, notamment celles en consommation d'énergie, qui sont réalisables en fonction du type de pompe.



## Légende :

- $P_H$  = Pompe principale
- $P_S$  = Pompe d'appoint 1-3
- $V_V$  = Débit charge totale
- $V_T$  = Débit charge partielle
- $P_V$  = Consommation d'énergie à pleine charge
- $P_T$  = Consommation d'énergie à charge partielle

Dans les systèmes de forte puissance, l'avantage de nombreuses années à coûts de fonctionnement réduit prime sur celui de coûts d'investissement initiaux faibles. Quatre petites pompes pourvues de variateurs électroniques intégrés et d'unités de commande sont plus coûteuses qu'une seule grosse pompe sans variation de vitesse. Cependant, si nous prenons par exemple une durée de fonctionnement de dix ans, les coûts d'investissement pour le système de régulation et les pompes pourvues d'un variateur électronique intégré peuvent être rentabilisés plusieurs fois par les économies réalisées. Un autre avantage à prendre en compte, la meilleure répartition et couverture des besoins avec un système plus silencieux et permettant une meilleure alimentation des réseaux et des terminaux. Cela conduit également à de fortes économies des ressources énergétiques primaires.



# Conclusion

En commençant par les premiers développements et les concepts de base et en poursuivant avec des exemples très complexes, les « Principes fondamentaux de la technologie des pompes » sont destinés à fournir une présentation sur les méthodes d'utilisation des pompes et sur les endroits dans lesquels les utiliser.

Il illustre les relations et interconnexions complexes du fonctionnement des pompes, ainsi que les améliorations de fonctionnement rendues possibles par les systèmes de régulation électroniques actuels.

Comparée au réseau de chauffage du bâtiment, la pompe de circulation est l'un des composants les plus petits en terme de taille et de prix d'achat. Cependant, c'est la pompe qui permet à tous les composants de fonctionner correctement. Si nous comparons le système au corps humain, il n'y a aucun doute : la pompe est le cœur du système !

# Le saviez-vous...

Testez vos connaissances des « Principes fondamentaux de la technologie des pompes » en répondant à ce questionnaire rapide.

## Histoire de la technologie des pompes

Questions sur les sujets suivants :

- Distribution d'eau
- Élimination des eaux usées
- Technique de chauffage



### Question 1 :

- Les pompes existaient au début des temps anciens. (1)
- Les pompes ont été inventées pour le chauffage. (2)
- Les pompes peuvent être utilisées pour pomper de l'eau uniquement. (3)

### Question 2 :

- Archimède a inventé la roue à bols. (1)
- Les chinois ont inventé la pompe centrifuge. (2)
- L'inclinaison de la vis d'Archimède détermine la hauteur de refoulement. (3)

### Question 3 :

- Les premiers égouts ont été construits en 1856. (1)
- Le Cloaca Maxima a été construit à Rome. (2)
- Les installations de relevage doivent être installées sur toutes les évacuations. (3)

### Question 4 :

- Les Anciens allemands disposaient déjà du chauffage central. (1)
- Les romains construisaient déjà des systèmes de chauffage par le sol. (2)
- Les moteurs à vapeur étaient utilisés pour chauffer les habitations au 17<sup>e</sup> siècle. (3)

### Question 5 :

- Sur les installations en thermosiphon, doivent être installées des pompes de forte puissance. (1)
- Les systèmes de chauffage à la vapeur fonctionnent à des températures comprises entre 90°C et 100°C. (2)
- Les systèmes de chauffage basse température ne sont possibles que grâce aux pompes de circulation. (3)

### Question 6 :

Pour quelles applications les pompes ont-elles été utilisées depuis des siècles ?

- Distribution d'eau (1)
- Systèmes de chauffage à la vapeur (2)
- Systèmes de chauffage en thermosiphon (3)

### Question 7 :

L'accélérateur de circulation, breveté en 1929,

- a été une amélioration d'une pompe de chauffage utilisée fréquemment. (1)
- a été la première pompe installée en tuyauterie pour le chauffage. (2)

### Question 8 :

À quelle partie du corps humain peut-on comparer les pompes de circulation de chauffage ?

- Les bras (1)
- Le cœur (2)
- La tête (3)

### Question 9 :

Les avantages présentés par les circulateurs de chauffage sont :

- Coûts d'installation plus faibles (1)
- Coûts de fonctionnement adaptés (2)
- Régulation (3)
- Tous les éléments indiqués ci-dessus (4)

Réponses :  
Question 1 : No. 1  
Question 2 : No. 3  
Question 3 : No. 2  
Question 4 : No. 3  
Question 5 : No. 3  
Question 6 : No. 1  
Question 7 : No. 2  
Question 8 : No. 2  
Question 9 : No. 4

L'eau – notre moyen de transport



Questions sur les sujets suivants :

- Capacité calorifique
- Augmentation et diminution de volume
- Pression

**Question 1 :**  
Quand l'eau se dilate-t-elle ?

- Lorsqu'elle est chauffée à plus de 0°C. (1)
- Lorsqu'elle est refroidie à moins de 0°C. (2)
- Lorsqu'elle est chauffée ou refroidie à partir d'une température de +4°C. (3)

**Question 2 :**  
Parmi ces propositions, laquelle présente trois termes équivalents ?

- Travail, rendement et puissance (1)
- Travail, énergie et quantité de chaleur (2)
- Travail, énergie et vigueur (3)

**Question 3 :**  
Parmi ces propositions, laquelle s'applique à l'eau lorsqu'elle est chauffée ?

- Elle devient sensiblement plus légère. (1)
- Elle devient sensiblement plus lourde. (2)
- Sa densité reste identique. (3)

**Question 4 :**  
Qua fait la température de l'eau lorsqu'elle atteint son point d'ébullition ?

- Elle continue à augmenter. (1)
- Elle reste au point d'ébullition. (2)
- Elle commence à diminuer. (3)

**Question 5 :**  
Comment empêcher la cavitation ?

- En choisissant une pompe avec faible pression mini à maintenir à l'aspiration (1)
- En diminuant la pression statique. (2)
- En augmentant la tension de vapeur PD. (3)

**Question 6 :**  
De quel facteur dépend la quantité d'énergie thermique disponible dans l'eau ?

- La capacité thermique de l'eau. (1)
- La masse d'eau en mouvement. (2)
- La différence de température entre l'alimentation et le retour. (3)
- Elle dépend de ces trois variables. (4)

**Question 7 :**  
Quel élément améliore le fonctionnement des systèmes de chauffage en thermosiphon ?

- Résistance réduite du réseau (1)
- Résistance accrue du réseau (2)

**Question 8 :**  
Quel est le rôle de la soupape de sécurité ?

- Elle est utilisée pour ventiler et purger le système. (1)
- Elle protège le système d'une charge de pression excessive. (2)
- Aucun ; elle est inutile lorsque des pompes électroniques sont installées. (3)

Réponses :  
Question 1 : N° 3  
Question 2 : N° 2  
Question 3 : N° 3  
Question 4 : N° 2  
Question 5 : N° 3  
Question 6 : N° 4  
Question 7 : N° 1  
Question 8 : N° 2



Caractéristiques de conception

- Questions sur les sujets suivants :
- Pompes auto-amorçantes et sans amorçage automatique
  - Circulateurs à rotor noyé
  - Pompes à garniture mécanique



Question 1 :

- La hauteur d'aspiration :
- dépend de la pression de l'air ; (1)
  - en théorie, est égale à 10,33 m ; (2)
  - a un effet sur la hauteur de refoulement ; (3)
  - les déclarations 1-3 s'appliquent toutes. (4)

Question 2 :

- Laquelle de ces déclarations s'applique aux pompes auto-amorçantes ?
- Elles sont capables de purger la ligne d'aspiration. (1)
  - La conduite d'aspiration doit être aussi courte que possible. (2)
  - Elles doivent être remplies avant la mise en service. (3)
  - Tous ces déclarations s'appliquent. (4)

Question 3 :

- Quelle fonction a l'eau de chauffage pour la cartouche des circulateurs à rotor noyé ?
- Elle refroidit et lubrifie. (1)
  - Elle maintient la hauteur de refoulement. (2)
  - Elle n'a aucune fonction. (3)

Question 4 :

- Quels sont les avantages d'un circulateur à rotor noyé ?
- Bon rendement (1)
  - Températures élevées du circuit de chauffage. (2)
  - Fonctionnement fiable et sans entretien. (3)

Question 5 :

- Quelles sont les positions d'installation recommandées pour une pompe à garniture mécanique en ligne ?
- Installée avec l'axe disposé verticalement. (1)
  - Installée avec l'axe disposé horizontalement. (2)
  - Toutes les positions sauf le moteur orienté vers le bas. (3)

Question 6 :

- Pour quelles applications les pompes avec garniture mécanique sont-elles utilisées ?
- Débits faibles (1)
  - Débits élevés (2)
  - Par manque de lubrification du moteur (3)

Question 7 :

- Le rendement d'une pompe est le rapport :
- de la bride de refoulement sur la bride d'aspiration ; (1)
  - de la puissance d'entraînement sur la puissance fournie ; (2)
  - de la puissance restituée sur la puissance absorbée. (3)

Question 8 :

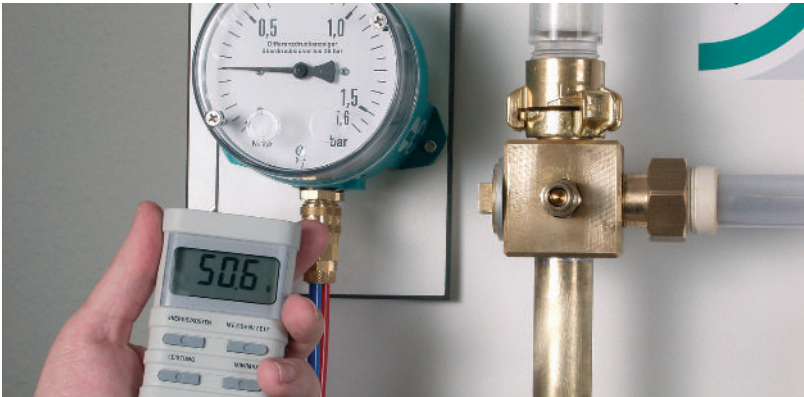
- Le meilleur rendement d'une pompe centrifuge se situe dans :
- le premier tiers gauche de la courbe de pompe ; (1)
  - le tiers central de la courbe de pompe ; (2)
  - le tiers droit de la courbe de pompe. (3)

Question 9 :

- Les garnitures mécaniques :
- sont constituées de chanvre ou de fibres synthétiques ; (1)
  - sont les paliers ; (2)
  - sont utilisées pour les pompes à moteur ventilé. (3)

Réponses :  
Question 1 : N° 4  
Question 2 : N° 4  
Question 3 : N° 1  
Question 4 : N° 3  
Question 5 : N° 3  
Question 6 : N° 2  
Question 7 : N° 3  
Question 8 : N° 2  
Question 9 : N° 3

Courbes



Questions sur les sujets suivants :

- Courbe de pompe
- Courbe réseau du circuit
- Point de fonctionnement

**Question 1 :**  
L'énergie d'entraînement électrique :

- est transformée en haute pression ;
- est transformée en augmentation de pression et en mouvement ;
- est obtenue de l'énergie hydraulique.

- (1)
- (2)
- (3)

**Question 2 :**  
Sur les axes de la courbe sont représentés :

- la hauteur de refoulement sur l'axe vertical et le débit sur l'axe horizontal ;
- le débit sur l'axe vertical et la hauteur de refoulement sur l'axe horizontal ;
- l'énergie sur l'axe vertical et le fluide sur l'axe horizontal.

- (1)
- (2)
- (3)

**Question 3 :**  
Que représente la courbe réseau ?

- L'augmentation de résistance en fonction du débit.
- L'augmentation du débit en fonction de la pression.
- Le changement de débit en fonction de la vitesse de l'eau.

- (1)
- (2)
- (3)

**Question 4 :**  
Comment évolue la résistance du circuit ?

- De manière linéaire avec le débit
- Quadratiquement avec le débit
- Cubiquement avec le débit

- (1)
- (2)
- (3)

**Question 5 :**  
De quel paramètre dépend la hauteur de refoulement d'un circulateur de chauffage ?

- La hauteur du bâtiment.
- La résistance du circuit hydraulique.
- Ces deux variables.

- (1)
- (2)
- (3)

**Question 6 :**  
De quel paramètre dépend le débit d'un circulateur de chauffage ?

- La température extérieure moyenne
- La température intérieure souhaitée
- La puissance thermique calculée

- (1)
- (2)
- (3)

Réponses  
Question 1 : N° 2  
Question 2 : N° 1  
Question 3 : N° 1  
Question 4 : N° 2  
Question 5 : N° 2  
Question 6 : N° 3

# Adaptation de la pompe à la demande thermique

- Questions sur les sujets suivants :
- Fluctuations climatiques
  - Régulation de la vitesse de la pompe
  - Régulation de vitesse en continu
  - Modes de commande



**Question 1 :**  
La demande thermique d'un bâtiment :

- est toujours identique ; (1)
- varie avec les saisons ; (2)
- augmente tous les ans. (3)

**Question 2 :**  
Que se passe-t-il lorsque la demande thermique change ?

- Les robinets thermostatiques des radiateurs régulent. (1)
- Les fenêtres font la régulation (= ouvertes/fermées). (2)
- La pression du circuit régule. (3)

**Question 3 :**  
Pourquoi modifie-t-on la vitesse de la pompe ?

- Pour régler le débit souhaité. (1)
- Pour soulager le clapet de décharge. (2)
- Pour compenser les erreurs de conception de la pompe. (3)

**Question 4 :**  
Comment modifie-t-on la vitesse de la pompe ?

- Toujours manuellement (1)
- Toujours automatiquement (2)
- Soit manuellement, soit automatiquement en fonction de l'équipement (3)

**Question 5 :**  
La régulation de vitesse en continu :

- est mieux que la commande graduelle ; (1)
- est pire que la commande graduelle ; (2)
- donne les mêmes résultats que la commande graduelle. (3)

**Question 6 :**  
Sur les circulateurs avec variateur électronique :

- on peut régler la demande thermique ; (1)
- on peut régler la durée de vie ; (2)
- on peut régler la hauteur de refoulement. (3)

**Question 7 :**  
Mode de régulation  $\Delta p - c$  = pression différentielle constante :

- le débit augmente avec une vitesse constante ; (1)
- la vitesse ajuste le débit nécessaire ; (2)
- la pression d'entrée du réservoir sous pression d'expansion à diaphragme reste constante en permanence. (3)

**Question 8 :**  
Mode réduit automatique (autopilot) :

- il est contrôlé par une horloge ; (1)
- il dépend de la température ambiante ; (2)
- il ne doit être utilisé que sur les circuits équilibrés hydrauliquement. (3)

**Question 9 :**  
Nouvelle technologie de pompes ECM (haute performance) :

- le rotor comprend un aimant permanent. (1)
- elle fournit une économie allant jusqu'à 80 % des coûts de fonctionnement par rapport aux pompes conventionnelles. (2)
- La rotation du rotor est générée par une commutation électronique (convertisseur de fréquence). (3)
- Les points 1-3 signifient qu'il s'agit du circulateur à rotor noyé le plus performant (et économique) du marché à l'heure actuelle. (4)

\*Réponses :  
Question 1 : N° 2  
Question 2 : N° 1  
Question 3 : N° 3  
Question 4 : N° 3  
Question 5 : N° 1  
Question 6 : N° 3  
Question 7 : N° 2  
Question 8 : N° 3  
Question 9 : N° 4



Sélection de pompe



- Questions sur les sujets suivants :
- Débit de la pompe
  - Hauteur de refoulement de la pompe
  - Conception de la pompe
  - Equilibrage hydraulique

**Question 1 :**  
Comment choisir une pompe de circulation de chauffage ?

- En fonction du diamètre nominal indiqué. (1)
- En fonction des coûts. (2)
- En fonction des performances. (3)

**Question 2 :**  
Que se passe-t-il si le débit augmente de 100 % ?

- La puissance thermique diminue d'env. 2 %. (1)
- La puissance thermique augmente d'env. 12 %. (2)
- La puissance thermique reste identique. (3)

**Question 3 :**  
Que doit-on faire en cas de doute lors de la sélection de la pompe de chauffage ?

- Sélectionner la pompe la plus petite. (1)
- Sélectionner la pompe la plus grande. (2)
- Sélectionner la pompe la moins chère. (3)

**Question 4 :**  
Dans un circuit ouvert de distribution d'eau, la hauteur de refoulement doit être sélectionnée suivant :

- la hauteur géométrique ; (1)
- la pression résiduelle du circuit ; (2)
- la résistance du circuit de chauffage ; (3)
- la somme des variables 1 à 3. (4)

**Question 5 :**  
Dans les systèmes de chauffage, pour lesquelles des variables suivantes la hauteur de refoulement doit-elle être conçue ?

- La hauteur géodésique (1)
- La pression de flux résiduelle (2)
- Les résistances de friction de tuyau (3)
- La somme des variables 1 à 3 (4)

**Question 6 :**  
Pourquoi équilibre-t-on les réseaux de chauffage ?

- Pour obtenir une distribution de chaleur optimale. (1)
- Afin que le système fonctionne aussi silencieusement que possible. (2)
- Pour protéger les consommateurs de la sous ou suralimentation. (3)
- Les trois points mentionnés ci-dessus sont corrects et importants. (4)

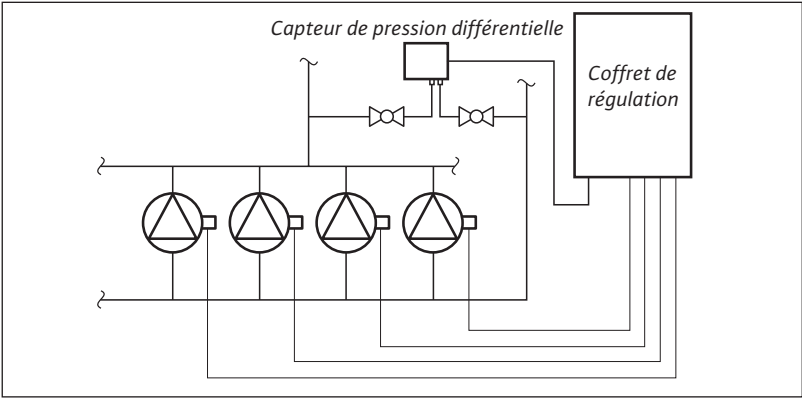
**Question 7 :**  
Lorsque la hauteur de refoulement requise est inconnue, quelle est la procédure correcte de réglage d'une pompe électronique ?

- Au mieux avec l'aide d'un(e) collègue. (1)
- Après purge soigneuse et équilibrage hydraulique du réseau. (2)
- Le processus de réglage commence au réglage le plus faible de la pompe. (3)
- Il se poursuit jusqu'à une alimentation correcte en énergie thermique du radiateur le plus éloigné. (4)
- Le réglage est terminé lorsque les quatre étapes précédentes sont achevées. (5)

Réponses :  
Question 1 : 3  
Question 2 : 3  
Question 3 : 3  
Question 4 : 4  
Question 5 : 4  
Question 6 : 4  
Question 7 : 5

Connexion de plusieurs pompes

- Questions sur les sujets suivants :
- Pompes raccordées en série
  - Pompes raccordées en parallèle
  - Fonctionnement à charge de pointe avec plusieurs pompes



- Question 1 :**  
Que se passe-t-il lorsque deux pompes sont raccordées en série ?
- La hauteur de refoulement double. (1)
  - Le débit double. (2)
  - Le changement dépend de la position sur les courbes réseau. (3)

- Question 2 :**  
Quel danger y a-t-il lorsque les pompes sont raccordées en série ?
- La pompe primaire peut pousser la seconde. (1)
  - Les puissances des pompes s'annulent. (2)
  - Il peut survenir une sous-alimentation du système. (3)

- Question 3 :**  
Que se passe-t-il lorsque deux pompes sont connectées en parallèle ?
- La hauteur de refoulement double. (1)
  - Le débit double. (2)
  - Le changement dépend de la position sur les courbes réseau. (3)

- Question 4 :**  
Dans quel mode une pompe jumelée peut-elle fonctionner ?
- Principalement en fonctionnement marche/secours (1)
  - Principalement en fonctionnement marche/appoint (2)
  - Elle peut fonctionner suivant ces deux modes. (3)

- Question 5 :**  
Dans les systèmes de forte puissance, quel avantage apporte le partage de la puissance d'une pompe en plusieurs pompes ?
- Coûts de fonctionnement inférieurs (1)
  - Durée de vie prolongée des pompes (2)
  - Les déclarations 1 et 2 sont valables. (3)

- Question 6 :**  
Quel est le nom du mode de régulation dans lequel le transmetteur de signaux est installé dans le système à une grande distance de l'inter-rupteur ?
- Régulation en thermosiphon (1)
  - Régulation compliquée (2)
  - Régulation suivant le point le plus éloigné (3)

- Question 7 :**  
Lequel des éléments suivants doit être pris en compte lors de la connexion de pompes en parallèle à une unité de commande ?
- Les pompes doivent être de taille identique. (1)
  - Elles doivent toutes être des pompes faible vitesse. (2)
  - Elles doivent toutes être des pompes haute vitesse. (3)

Réponses :  
Question 1 : N° 3  
Question 2 : N° 1  
Question 3 : N° 3  
Question 4 : N° 3  
Question 5 : N° 3  
Question 6 : N° 3  
Question 7 : N° 1

# Unités légales de mesure,

## liste partielle des pompes centrifuges

Dimension physique	Symbole	Unités légales de mesure		Unités de mesure obsolètes	Unités recommandées	Remarques	
		Unités SI	Autres unités légales de mesure (liste incomplète)				
Longueur	l	m	Mètre	km, dm, cm, mm, μm		m	Unité de base
Volume	V	m³		dm³, cm³, mm³, Litre (1 l = 1 dm³)	cbm, cdm, ...	m³	
Débit, débit volumique	Q V	m³/s		m³/h, l/s		l/s et m³/s	
Durée	t	s	Seconde	s, ms, μs, ns, ... min, h, d		s	Unité de base
Vitesse de rotation	n	tr/s		tr/min		tr/min	
Poids	m	kg	Kilogramme	g, mg, μg, Tonne (1 t = 1,000 kg)	Livre, Quintal	kg	Unité de base
							La masse d'une marchandise est appelée son poids.
Densité	ρ	kg/m³		kg/dm³		kg/dm³ et kg/m³	La désignation « masse spécifique » ne doit plus être utilisée, car elle est ambiguë (voir DIN 1305).
Force	F	N	Newton (= kg m/s²)	kN, mN, μN, ...	kp, Mp, ...	N	1 kp = 9,81 N. La force gravitationnelle est le produit de la masse m et de l'accélération locale de la gravité g.
Pression	P	Pa	Pascal (= N/m²)	Bar (1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa)	kp/cm², atm, mCE, Torr, ...	bar	1 atm = 0,981 bar = 9,81 • 10 <sup>4</sup> Pa 1 mm Hg = 1,333 mbar 1 mmCE = 0,098 mbar
Énergie, travail, Quantité de chaleur	W, Q	J	Joule (= Nm = Js)	kJ, Js, kWh, ... 1 kW h = 3,600 kJ	kp m, kcal, cal WE	J et kJ	1 kp m = 9,81 J 1 kcal = 4,1868 kJ
Hauteur de refoulement	H	m	Mètre		M Fl. S.	m	La hauteur de refoulement est l'unité de masse du fluide pompé transformé en travail en J = Nm, exprimé en force gravitationnelle de cette unité de masse en N.
Puissance	P	W	Watt (= J/s = N m/s)	MW, kW	kp m/s, CV	kW	1 kp m/s = 9,81 W 1 CV = 736 W
Différence de température	T	K	Kelvin	°C	°K, grd	K	Unité de base



WILO AG a accordé le plus grand soin à la préparation de tous les textes de ce document. Cependant, la possibilité d'erreur ne peut pas être exclue. L'éditeur décline expressément toute responsabilité, quelles que soient les bases légales.

Copyright 2005 par WILO AG, Dortmund

Ce travail et tous ses composants sont protégés par les droits d'auteur. Toute utilisation en dehors des droits restreints de la législation sur les droits d'auteur sans le consentement de WILO AG est interdite et peut être punie par la loi. Cela s'applique particulièrement à la duplication, la traduction, la sauvegarde sur microfilms et tout autre type de traitement, ainsi qu'au stockage et au traitement sur des systèmes électroniques. Cette réglementation s'applique également à l'utilisation de certaines des illustrations et passages du texte.

Quatrième édition revue et mise à jour en 2005



Pumpen Intelligenz.

WILO AG  
Nortkirchenstraße 100  
44263 Dortmund  
Germany  
T +49 231 4102-0  
F +49 231 4102-7363  
www.wilo.com

## Wilo – International (Filiales)

### Autriche

WILO Handelsges. m.b.H.  
1230 Wien  
T +43 1 25062-0  
F +43 1 25062-15  
office@wilo.at

### Biélorussie

WILO Bel OOO  
220035 Minsk  
T +375 17 2503383  
wilobel@mail.ru

### Belgique

WILO NV/SA  
1083 Ganshoren  
T +32 2 4823333  
F +32 2 4823330  
info@wilo.be

### Bulgarie

WILO Bulgaria EOOD  
1125 Sofia  
T +359 2 9701970  
F +359 2 9701979  
info@wilo.bg

### Canada

WILO Canada Inc.  
Calgary, Alberta T2A5L4  
T +1 403 2769456  
F +1 403 2779456  
blowe@wilo-na.com

### Chine

WILO SALMSON (Beijing)  
Pumps System Ltd.  
101300 Beijing  
T +86 10 804939700  
F +86 10 80493788  
wilobj@wilo.com.cn

### République Tchèque

WILO Praha s.r.o.  
25101 Cestlice  
T +420 234 098 711  
F +420 234 098 710  
info@wilo.cz

### Danemark

WILO Danmark A/S  
2690 Karlslunde  
T +45 70 253312  
F +45 70 253316  
wilo@wilo.dk

### Finlande

WILO Finland OY  
02320 Espoo  
T +358 9 26065222  
F +358 9 26065220  
wilo@wilo.fi

### France

WILO France  
78310 Coignières  
T +33 1 30050930  
F +33 1 34614959  
wilo@wilo.fr

### Grande-Bretagne

WILO SALMSON Pumps Ltd.  
DE14 2WJ Burton-on-Trent  
T +44 1283 523000  
F +44 1283 523099  
sales@wilo.co.uk

### Grèce

WILO Hellas AG  
14569 Anixi (Attika)  
T +30 10 6248300  
F +30 10 6248360  
wilo.info@wilo.gr

### Hongrie

WILO Magyarország Kft  
1144 Budapest XIV  
T +36 1 46770-70 Sales Dep.  
46770-80 Tech. Serv.  
F +36 1 4677089  
wilo.hu

### Irlande

WILO Engineering Ltd.  
Limerick  
T +353 61 227566  
F +353 61 229017  
sales@wilo.ie

### Italie

WILO Italia s.r.l.  
20068 Peschiera Borromeo  
(Milano)  
T +39 02 5538351  
F +39 02 55303374  
wilo.italia@wilo.it

### Kazakhstan

TOO WILO Central Asia  
480100 Almaty  
T +7 3272 507333  
F +7 3272 507332  
info@wilo.kz

### Corée

WILO Industries Ltd.  
137-818 Seoul  
T +82 2 34716600  
F +82 2 34710232  
wilo@wilo.co.kr

### Lettonie

WILO Baltic SIA  
1019 Riga  
T +371 7 145229  
F +371 7 145566  
mail@wilo.lv

### Liban

WILO SALMSON  
Lebanon s.a.r.l.  
12022030 El Metn  
T +961 4 722280  
F +961 4 722285  
wsl@cyberia.net.lb

### Lithuanie

UAB WILO Lietuva  
03202 Vilnius  
T +370 2 236495  
F +370 2 236495  
mail@wilo.lt

### Pays-Bas

WILO Nederland b.v.  
1948 RC Beverwijk  
T +31 251 220844  
F +31 251 225168  
wilo@wilo.nl

### Norvège

WILO Norge A/S  
0901 Oslo  
T +47 22 804570  
F +47 22 804590  
wilo@wilo.no

### Pologne

WILO Polska Sp. z o.o.  
05-090 Raszyn k/Warszawy  
T +48 22 7201111  
F +48 22 7200526  
wilo@wilo.pl

### Portugal

Bombas Wilo-Salmson  
Portugal  
4050-040 Porto  
T +351 22 2080350  
F +351 22 2001469  
bombas@wilo-salmson.pt

### Roumanie

WILO Romania s.r.l.  
7000 Bucuresti  
T +40 21 4600612  
F +40 21 4600743  
wilo@wilo.ro

### Russie

WILO Rus o.o.o.  
123592 Moscou  
T +7 095 7810690  
F +7 095 7810691  
wilo@orc.ru

### Serbie & Monténégro

WILO Beograd d.o.o.  
11000 Beograd  
T +381 11 765871  
F +381 11 3292306  
dragan.simonovic@wilo.co.yu

### Slovaquie

WILO Slovakia s.r.o.  
82008 Bratislava 28  
T +421 2 45520122  
F +421 2 45246471  
wilo@wilo.sk

### Slovénie

WILO Adriatic d.o.o.  
1000 Ljubljana  
T +386 1 5838130  
F +386 1 5838138  
detlef.schilla@wilo.si

### Espagne

WILO Ibérica S.A.  
28806 Alcalá de Henares  
(Madrid)  
T +34 91 8797100  
F +34 91 8797101  
wilo.iberica@wilo.es

### Suède

WILO Sverige AB  
35033 Växjö  
T +46 470 727600  
F +46 470 727644  
wilo@wilo.se

### Suisse

EMB Pumpen AG  
4310 Rheinfelden  
T +41 61 8368020  
F +41 61 8368021  
info@emb-pumpen.ch

### Turquie

WILO Pompa Sistemleri  
San. ve Tic. A.Ş.  
34530 Istanbul  
T +90 216 6610211  
F +90 216 6610214  
wilo@wilo.com.tr

### Ukraine

WILO Ukraina t.o.w.  
01033 Kiev  
T +38 044 2011870  
F +38 044 2011877  
wilo@wilo.ua

### États-Unis

WILO USA LLC  
Calgary, Alberta T2A5L4  
T +1 403 2769456  
F +1 403 2779456  
blowe@wilo-na.com

## Wilo – International (Bureaux de représentation)

### Azerbaïdjan

370141 Bakou  
T +994 50 2100890  
F +994 12 4975253  
info@wilo.az

### Bosnie Herzégovine

71000 Sarajevo  
T +387 33 714511  
F +387 33 714510  
anton.mrak@wilo.si

### Croatie

10000 Zagreb  
T +385 1 3680474  
F +385 1 3680476  
rino.kerekovic@wilo.hr

### Géorgie

38007 Tbilisi  
T/F +995 32 536459  
info@wilo.ge

### Macédoine

1000 Skopje  
T/F +389 2122058  
valerij.vojneski@wilo.com.mk

### Moldavie

2012 Chisinau  
T/F +373 22 223501  
sergiu.zagurean@wilo.md

### Tadjikistan

734025 Dushanbe  
T +992 372 316275  
info@wilo.tj

### Ouzbékistan

700029 Tachkent  
T/F +998 71 1206774  
wilo.uz@online.ru

Avril 2006